

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

"ESTUDIO LITOGEOQUIMICO COMPARATIVO ENTRE LA SUPER UNIDAD LINGA Y SUPER UNIDAD TIABAYA EN EL SECTOR DE

ACARI Y JAQUI Y SU COMPORTAMIENTO RESPECTO A LA MINERALIZACION"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

DEDICATORIA:

A Dios Padre Todopoderoso, el que me dio la vida.

A mis Padres Federico y Margarita, mi máxima inspiración.

A mis Hermanos Gustavo y José, siempre seremos los Hnos. Augusto.

A mis amigos de toda la vida, Cristina y Juan Manuel, siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), rector de la Geología en el País y promotor de la investigación, por haberme permitido realizar este proyecto de investigación y haberme brindando la calidad laboral en estos años llevados en la Institución. Asimismo a la Ing. Susana Vilca Achata, Presidenta del Consejo Directivo del INGGEMMET en su calidad de representada por su valiosa labor en el desarrollo científico nacional.

Agradezco al Ing. Jorge Chira Fernández, Director de la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos de INGGEMMET por la confianza brindada desde un principio y el asesoramiento en el desarrollo de la presente Tesis.

Al Dr. Hipólito Tume Chapa, asesor académico, por su revisión, observaciones y críticas realizadas para la mejora y presentación de la tesis realizada.

A la Dra. Mirian Mamani, por las explicaciones, observaciones, y comentarios realizados, por su innegable apoyo a los jóvenes profesionales y su valioso aporte en el desarrollo de nuevos proyectos de investigación.

Al Ing. Ítalo Rodríguez, por la revisión y observaciones realizadas a los capítulos iniciales, y por su amistad sincera.

Al Ing. Luis Vargas, por las observaciones y recomendaciones realizadas al plan de tesis.

Al Ing. Pedro Ticona, por ser la primera persona en depositar su confianza en mi labor y aprender a dar los primeros pasos en mi carrera como profesional.

Asimismo, quiero escribir estas significativas palabras de agradecimiento al Ing. Freddy Arcos Alarcón, el principal promotor y guía profesional de la presente tesis, por sus enseñanzas impartidas en campo, sus conocimientos en el desarrollo de la misma, por sus opiniones y sugerencias, su inacabable labor al frente de la Actividad de Asistencia Técnica a los Pequeños Productores Mineros y Mineros Artesanales. Fiel compañero de largas caminatas. Por su calidad como persona, un excelente jefe, maestro, amigo y sobre todo un gran padre.

ÍNDICE GENERAL

Índice General	i
Índice de Figuras	v
Índice de Cuadros	ix
Índice de Simbologías y Abreviaturas	x
Índice de Mapas	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
1. CAPITULO I: GENERALIDADES	Pag.
Introducción	1
1.1 Ubicación y extensión	2
1.2 Accesibilidad	2
1.3 El problema de la investigación	5
1.4 Justificación	5
1.5 Objetivo del estudio	6
1.6 Hipótesis	6
1.7 Metodología del trabajo	7
1.7.1 Recopilación de información	7
1.7.2 Trabajos de gabinete	7
1.7.3 Trabajos de campo	7
1.7.4 Procesamiento e Interpretación	8
1.7.5 Petrografía y Equipos	8
1.8 Trabajos anteriores	9
2. CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA	Pag.
2.1. Hidrografía	10
2.2. Clima y vegetación	11
2.3. Unidades Geomorfológicas	13
2.3.1 Cadena Costanera	13
2.3.2 Peneplanicie Costera	13
2.3.3 Valles Transversales	13
3. CAPITULO III: GEOLOGÍA REGIONAL	Pag.
3.1. Estratigrafía	15
3.1.1. Mesozoico	16
Grupo Yura	16
Complejo Santa Rita	18

3.1.2.	Cenozoico	18
	Formación Moquegua	18
	Formación Maure	18
	Formación Huaylillas	19
	Grupo Nasca	19
3.1.3.	Depósitos Clásticos Recientes	19
3.2.	Rocas Intrusivas	22
3.2.1.	Magmatismo Mesozoico-Cenozoico	22
3.2.2.	Tectonismo Mesozoico-Cenozoico	23
3.2.3.	El Batolito de la Costa sur del Perú	25
3.2.4.	El Segmento Arequipa	26
	Diorita Acarí	28
	Gabros	28
	Superunidad Linga	29
	Superunidad Tiabaya	31
	Intrusivos Subvolcánicos	31
4.	CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	Pag.
4.1.	Zonas Morfoestructurales	34
4.1.1.	Zona de fallamiento en bloques	34
4.1.2.	Zona de emplazamiento del Batolito de la Costa	35
4.2.	Lineamientos Interpretados	35
4.2.1.	Lineamientos Regionales	35
4.2.2.	Lineamientos Preferenciales Locales	36
4.3.	Sistema de Fallas Regionales	36
4.3.1.	Sistema de Fallas Iquipi Clavelinas	36
4.3.2.	Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo	39
4.3.3.	Sistema de Fallas Nasca Ocoña	39
5.	CAPITULO V: ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERAGRÁFICO	Pag.
5.1.	Estudio Petrográfico de la Superunidad Linga	42
5.1.1.	Monzogranitos	42
5.1.2.	Monzonitas con cuarzo	47
5.1.3.	Monzodioritas	54
5.2.	Estudio Petrográfico de la Superunidad Tiabaya	57
5.2.1.	Monzogranitos	57
5.2.2.	Tonalitas-Granodioritas	61
	Granodioritas	61
	Tonalitas	65
5.2.3.	Monzodioritas	68
5.2.4.	Dioritas	73

5.3. Estudio Mineragráfico	77
6. CAPITULO VI: LITOGEOQUÍMICA DE LA SUPERUNIDAD LINGA Y SUPER UNIDAD TIABAYA	Pag.
6.1. Introducción	92
6.2. Composición Química de la Rocas	93
6.2.1. Elementos Mayores	93
A. Diagrama R1-R2 (De la Roche et al, 1980) usando cationes	95
B. Diagrama TAS Total Álcalis vs Sílice	97
C. Diagrama de Índice de Saturación de Alúmina (Shand, 1968)	99
D. Diagrama de Cristalización de feldespatos por el Enriquecimiento de Na-K (Peccerillo & Taylor, 1976; modificado por Le Maitre, 1989)	101
E. Diagrama Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989)	102
F. Diagrama de Determinación del contenido de FeO total	103
G. Diagramas de Harker	106
6.2.2. Elementos Traza	108
Tierras Raras	110
Elementos Compatibles e Incompatibles	112
A. Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb	115
B. Diagrama de Variación Rb vs V	116
C. Diagrama de Variación V vs Zr	117
D. Diagramas de Razones de Elementos Traza	117
Diagrama de Profundidad de Generación del Magma	118
E. Diagramas de Concentración de Tierras Raras	120
Diagrama de Composición del Manto primitivo	121
Diagrama de Normalización de Condritos	123
F. Ocurrencia de Minerales relacionado a la Geoquímica de Rocas	124
6.3. Ambiente Magmático y Petrogénesis	130
7. CAPITULO VII: CONTROLES DE LA MINERALIZACIÓN	Pag.
7.1. Control de Mineralización en la Zona de Cobrepampa	133
7.1.1. Control Litológico	133
7.1.2. Control Estructural	134
7.1.3. Control Mineralógico	136
7.2. Control de Mineralización en la Zona de Canchete	139
7.2.1. Control Litológico	139
7.2.2. Control Estructural	141
7.2.3. Control Mineralógico	141

8. CAPITULO VIII: ASPECTOS PROSPECTIVOS RELACIONADOS A LA PEQUEÑA MINERÍA	Pag.
8.1. Relaciones con la mineralización en la Zona de Cobrepampa	148
8.2. Relaciones con la mineralización en la Zona de Canchete	149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
ANEXOS	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Vista del río Acarí desde el frente del Centro Poblado de Otapara (Acarí).

Figura 2.2 Quebrada del río Yauca, donde la vegetación está cerca de los cursos de agua, mientras que alrededor la vista es árida (Jaquí).

Figura 3.1 Areniscas Labra del Grupo Yura actuando como roca caja en el emplazamiento de las vetas (Sector Pampa Tullucata)

Figura 3.2 Columna Litoestratigráfica del área de estudio (Tomado y Modificado de Arcos & Calderón, 2013)

Figura 3.3 Vista del Grupo Yura (Areniscas Labra) cubiertas por Tobas del Grupo Nasca (Zona Pampa Tullucata-Acarí)

Figura 3.4 Vista de la Quebrada Trancas Grande, que muestran el contacto de las Tobas del Grupo Nasca con las Monzonitas con cuarzo de la Superunidad Linga. Hacia el fondo de la misma se observan Depósitos Cuaternarios eólicos cubriendo los estratos sedimentarios del Grupo Yura.

Figura 3.5 El Batolito de la Costa, abarca desde Venezuela hasta la Patagonia (Chile/Argentina). Es un batolito múltiple y compuesto emplazado en el borde continental producto de la subducción de la Placa Nasca, aunque existe plutonismo en las cuencas de trasarco (backarc) pero ligado mayormente al magmatismo paleozoico y producido en un ambiente de rift. Esta faja orogénica también es conocida como una "Cordillera Magmática". Tomado de Winter, 2001.

Figura 3.6 Ubicación del magmatismo y tectónica en Sudamérica, el Perú pertenece a la Zona Volcánica Central (CVZ) caracterizada por un magmatismo calco-alkalino e intermedio entre la NVZ y la SVZ (materiales más primitivos) Tomado de Thorpe et al, 1984.

Figura 3.7 Vista del Cerro Canchete (Gabros). Alrededor se observan las Tonalitas-Granodioritas de la Superunidad Tiabaya.

Figura 3.8 a) Vista en el área de Machaynioc (Acarí) de Dioritas de la S.U Tiabaya con rellenos de falla cuya mineralización está asociada a diques andesíticos. b) Monzonita de la S.U Linga. La coloración rosada es producto de la alteración potásica, extraída del área de Cobrepampa. c) Granodiorita de la S.U Tiabaya. Es la más abundante en el área de estudio, extraída del área de Machaynioc. a y b tomadas de Arcos & Calderón, 2013.

Figura 3.9 Segmentación de las Superunidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, Tomado y modificado de Pitcher, 1985.

Figura 5.1 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), asociado y desarrollado en zonas de fracturas se encuentra ilmenita: il, como diseminados y asociados en gangas (GGs).

Figura 5.2 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), reemplazado y asociado a través de sus bordes por ilmenita alterada por hematita: il (hm), como diseminados en gangas (GGs).

Figura 5.3 Cristales de ilmenitas (il) y magnetita en exsolución lamelar, alterada a hematita mt(hm); asociados a limolitas (LIMs) y diseminados en gangas (GGs).

Figura 5.4 Cristales de magnetita alterada a hematita, reemplazado a través de sus bordes y clivaje: mt (hm), diseminados en gangas (GGs)

Figura 5.5 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), que se muestra principalmente en exsolución lamelar, asociado a rutilo (rt). Los cuales se encuentran diseminados en gangas (GGs).

Figura 5.6 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), asociado y desarrollado en zonas de clivaje se encuentra ilmenita con hematita: il (hm), diseminados en gangas (GGs).

Figura 5.7 Remanentes de magnetita alterada a hematita: mt (hm), asociado a goethita con inclusiones de calcopirita: goe-cp, calcopirita: cp, relleno de oquedades de gangas (GGs).

Figura 5.8 Cristales de magnetita alteradas a hematita: mt (hm), en textura de exsolución lamelar, que a su vez presenta inclusiones de goethita (goe), pirrotita (po) reemplazada por calcopirita (cp).

Figura 5.9 Cristales de magnetita alteradas a hematita: mt (hm), asociado a cristales de ilmenita, alterada a hematita y rutilo: il (hm-rt). Diseminados en gangas (GGs).

Figura 6.1 Diagrama R1 vs R2 (De la Roche et al, 1980) para la Superunidad Linga

Figura 6.2 Diagrama R1 vs R2 (De la Roche et al, 1980) para la Superunidad Tiabaya

Figura 6.3 Diagrama TAS-Total Álcalis vs Sílice (Le Maitre et al, 2002)

Figura 6.4 Diagrama de Índice de saturación de alúmina (Shand, 1968)

Figura 6.5 Diagrama de Cristalización de Feldespatos por el enriquecimiento de Na-K (Peccerillo & Taylor, 1976; modificado por Le Maitre, 1989)

Figura 6.6 Diagrama de Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989)

Figura 6.7 Diagrama SiO₂ vs FeO tot

Figura 6.8 Diagramas de Harker para la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya

Figura 6.9 Diagrama de clasificación de carga iónica positiva vs el radio iónico de elementos mayores (resaltado) y elementos traza (Rollinson, 1993). Elementos de tierras raras (REE), 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 6.10 Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb

Figura 6.11 Diagrama de variación Rb vs V

Figura 6.12 Diagrama de variación V vs Zr

Figura 6.13 Diagramas de razones de Elementos Traza Sr/y, La/Sm, Sm/Yb, Dy/Yb (Mamani et al, 2010) de la Superunidad Linga y Tiabaya

Figura 6.14 Diagrama de Profundidad de Generación del Magma (Mantle & Collins, 2008)

Figura 6.15 Diagrama de Manto Primitivo-Multielemental (McDonough & Sun, 1995)

Figura 6.16 Diagrama de Tierras Raras (McDonough & Sun, 1989)

Figura 6.17 Diagrama de Proveniencia del Magma Ce vs Ce/Y

Figura 6.18 Diagrama de Tipo de Magma Sr/Y vs Eu/Eu*

Figura 6.19 Diagrama de Tipo de Magma Al/(Ca+Na+K) vs Eu/Eu*

Figura 6.20 Diagrama de Oxidación vs El Contenido de agua Eu/Eu* vs FeO total

Figura 7.1 Zona de alteración de la monzonita, zona de falla, con venilleo hidrotermal de cuarzo y ortosa (Qda Santa Rosa).

Figura 7.2 Muestra con Carbonatos de Cobre (Malaquita, Crisocola) en las fracturas de la roca (San José).

Figura 7.3 Sistema estructural regional observado hacia el norte del Sector Cobrepampa en el que se aprecia que las fallas regionales Cuesta del Molino, Manto, así como Santa Rosa y Verónica, han generado juego de bloques compresivos. En estos jogs estructurales habrían concentrado la mineralización observándose estructuras en forma de huso, Tomado y modificado de Arcos & Calderón, 2013.

Figura 7.4 Sistemas Morfoestructurales de los cuerpos filonianos observados en la zona de Cobrepampa. Estos sistemas nos determinan una guía de exploración de carácter morfológico y estructural, a) Sistema de filones en enrejado rectangular (Cobrepampa) b) Sistema de filones en ángulo agudo (Norte de Pico Blanco) c) Sistema de filones en paralelo (Oeste de Magdalena), Tomado de Arcos & Calderón, 2013.

Figura 7.5 Modelo estructural en la zona de Cobrepampa, donde se observa la disposición idealizada de las vetas (traza) en forma de huso. Este sistema estaría funcionando tanto de manera local como regional debido al control estructural (Tomado y Modificado de Arcos & Calderón, 2013)

Figura 7.6 a) Muestra mineralizada del área de Millonaria con bornita, calcosita, calcopirita además de cuprita y atacamita. b) Carbonatos de Cu (malaquita, crisocola) en las fracturas de la roca caja extraída de las canchas, ubicada en la zona de San José.

Figura 7.7 a) Vista de las labores mineras en la zona de Cobrepampa, algunas de estas presentan piques de hasta 50m y tienen una orientación de N50°O b) Alteración potásica (ortosa) en venas y argílica moderada de la monzonita que se observa muy fracturada. Quebrada Santa Rosa.

Figura 7.8 a) Vetillas de cuarzo con alteración argílica en roca caja Dioritas (Santa Elisa) b) Tonalita-Granodiorita en la zona sur de Santa Elisa, la roca presenta xenolitos.

Figura 7.9 Modelo estructural en la zona de Canchete, donde se observa la disposición idealizada de las vetas (traza) en forma de huso. Este sistema funciona también para la zona de Cobrepampa.

Figura 7.10 a) Vista de las labores mineras en la zona de Canchete Norte, las mismas que presentan piques menores a los 80m y tienen una orientación E-O con elevadas leyes de oro b) Trincheras en la zona SE de Canchete con halos de alteración argílica de 1-2 m y halos de oxidación de 1-2 m.

Figura 7.11 a) Entrada de una labor minera en la zona de Canchete, la roca caja se encuentra oxidada con venilleo de cuarzo y carbonatos de cobre en la superficie b) Interior de una labor minera abandonada en la zona sureste de Canchete, la roca caja se encuentra oxidada con presencia de carbonatos de cobre, los pequeños mineros usan como guía el panizo de falla que les indica por donde se ha dirigido la veta.

Figura 8.1 Perfil – Sección mostrando las Franjas Metalogénicas en el área de estudio. Se evidencia el fuerte control estructural de estas, así como las relaciones de los diferentes eventos magmáticos de este segmento del Batolito de la Costa con la mineralización (Tomado de Arcos & Calderón, 2013)

Figura 8.2: Mapa de distribución de las vetas en la zona de Cobrepampa

Figura 8.3: Mapa de distribución de las vetas en la zona de Canchete

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Vértices del área de estudio

Cuadro 1.2 Distancias y vías de acceso

Cuadro 3.1 Ciclos Orogénicos

Cuadro 3.2 Cuadro Resumen de las Superunidades emplazadas en el segmento Arequipa del Batolito de la Costa, Tomado y modificado de Pitcher, 1985

Cuadro 5.1 Cuadro Resumen de la distribución petrográfica de las muestras de la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya

Cuadro 6.1 Características químicas de las Tierras Raras (Tomado de Vásquez, 2009)

Cuadro 6.2 Elementos Mayores y Trazas que se concentran comúnmente en algunos minerales

Cuadro 6.3 Cuadro Resumen Comparativo de la distribución petrográfica y geoquímica de las muestras de la Superunidad Linga

Cuadro 6.4 Cuadro Resumen Comparativo de la distribución petrográfica y geoquímica de las muestras de la Superunidad Tiabaya

Cuadro 8.1: Resultados Geoquímicos por Cu de las vetas en la zona de Cobrepampa

Cuadro 8.2: Resultados Geoquímicos por Au-Cu de las vetas en la zona de Canchete

ÍNDICE DE SIMBOLOGÍAS Y ABREVIATURAS

Eh: Euhedral

Sh: Subhedral

Ah: Anhedral

Pr: Prismático

F: Fenos

M: Matriz

D: Diseminados

A: Agregados

Ais: Aislados

Mi: Microfracturas

Ma: Maclados

Z: Zonados

C: Corroído

R: Residual

Cr : Criptocristalino

Incl: Inclusiones

Arg: Argilización

Clor: Cloritización

Oxid: Oxidación

Sil: Silicificación

Epid: Epidotización

Carb: Carbonatación

Ser: Sericitización

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.1 Mapa de ubicación y accesos

Mapa 2.1 Mapa de Cuencas Hidrográficas

Mapa 2.2 Mapa de Unidades Geomorfológicas

Mapa 3.1 Mapa Geológico

Mapa 3.2 Mapa de Rocas Ígneas

Mapa 4.1 Mapa Estructural

Mapa 5.1 Mapa de distribución espacial de las muestras de secciones delgadas y pulidas del área de estudio

Mapa 6.1 Mapa de Distribución con la ubicación espacial de las Muestras de Roca Total del área de estudio

Mapa 7.1 Mapa de Discriminación litológica de las variaciones composicionales de Rocas de la Superunidad Linga en la zona de Cobrepampa y de la Superunidad Tiabaya en la zona de Canchete.

Mapa 7.2 Mapa de Discriminación Litológica de las zonas de Cobrepampa - Canchete y distribución de las muestras de roca total.

Mapa 8.1 Mapa de Ubicación espacial de las muestras de mena en el área de estudio

Mapa 8.2 Mapa Metalogenético local del área de estudio

RESUMEN

El área de estudio se encuentra localizada entre los departamentos de Arequipa y Ayacucho. Comprende el Segmento Arequipa del Batolito de la Costa y se han enfocado dos zonas de trabajo: Cobrepampa y Canchete con una extensión aproximada de 623 Km².

El objetivo fue establecer parámetros petrográficos y firmas geoquímicas entre la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya, en base al estudio litogeoquímico y de análisis con secciones delgadas y pulidas, para contribuir al conocimiento de las características geoquímicas de las mencionadas Superunidades.

La metodología consistió en la recolección de 112 muestras. Se hizo la selección de 27 muestras para roca total, 54 muestras de mena y 31 muestras para secciones delgadas y pulidas. Con el uso de las imágenes satelitales Landsat B4, Aster B3, Filtros Direccionales (N-S, NO-SE, NE-SO y E-O) y el modelo de sombras se realizaron las interpretaciones estructurales y se hizo la discriminación litológica de las facies existentes en el área de estudio.

El Contexto Geológico Regional está definido básicamente por las Rocas Intrusivas de la Superunidad Linga cuya edad oscila entre los 97 Ma y La Superunidad Tiabaya con una edad aproximada de 82 Ma que son limitadas a su vez por fallas regionales de dirección NO-SE y E-O.

La petrografía nos indicó que la Superunidad Linga presenta 03 facies litológicas (Monzodioritas, Monzonitas con Cuarzo y Monzogranitos) y la Superunidad Tiabaya presenta 04 facies litológicas (Dioritas, Monzodioritas, Tonalitas-Granodioritas y Monzogranitos) cada una de estas con características propias.

El estudio litogeoquímico determinó que son rocas calcoalcalinas con rangos de 55 a 70 wt% de sílice y se encuentran en un ambiente transicional a potásico. Dichas Superunidades presentan controles de mineralización muy marcados, donde la Superunidad Linga lo es para el cobre mientras que la Superunidad Tiabaya lo refleja en el oro.

ABSTRACT

The study area is located between the departments of Arequipa and Ayacucho. Arequipa Segment comprises the Coastal Batholith and have focused two working zones: Cobrepampa and Canchete with an approximate area of 623 km².

The aim was to establish parameters petrographic and geochemical signatures between Superunit Linga and Superunit Tiabaya, based on the litho geochemical study and analysis of thin sections and polished to contribute to the knowledge of the geochemical characteristics of the superunits mentioned.

The methodology consisted in collecting 112 samples. Selection of 27 whole rock samples, 54 samples of ore and 31 samples for laminations and polished sections were made. Using Landsat satellite images B4, B3 Aster, Directional Filters (NS, NW-SE, NE-SW and EW) and model shadows performed structural and lithological interpretations of existing facies discrimination was made in the study area.

The Regional Context Geological is basically defined by the Intrusive Rocks Superunit Linga whose age varies between 97 Ma and The Superunit Tiabaya with an approximate age of 82 Ma that are limited in turn by regional faults of a NW-SE and EW.

The petrography told us that the Superunit Linga has 03 lithologicfacies (monzodiorites, with Quartz monzonite and monzogranites) and 04 Superunit Tiabaya presents lithological facies (Diorites, monzodiorites, Tonalites-granodiorites and monzogranites) with each of these characteristics.

The study determined that litho geochemical calc rocks ranges are 55 to 70 wt% silica and are in a transitional potassium environment. Such controls have superunits very marked mineralization, where it is Superunit Linga for copper while Superunit Tiabaya reflected in gold.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza en la costa sur media del Perú. Comprende el Segmento Arequipa del Batolito de la Costa (Pitcher et-al. 1985), entre los cuadrángulos de Jaquí (31-ñ) y Acarí (31-n).

La zona es explotada desde el siglo pasado. La mayor concentración de labores mineras se encuentra en los sectores de Cobrepampa (Acarí) con mineralización de cobre y Canchete (Jaquí) con mineralización de oro. Los yacimientos básicamente son de tipo filoniano de origen hidrotermal con mineralización de oro – cobre, relacionados a intrusivos del Cretácico superior.

En la Franja aurífera Nasca-Ocoña, afloran predominantemente rocas ígneas plutónicas del Batolito de la Costa (Cretácico superior) de la Súperunidad Tiabaya (dioritas, tonalitas, granodioritas) y la Súperunidad Linga (monzonitas, monzodioritas).

El área de estudio está controlada básicamente por dos sistemas estructurales regionales con direcciones NO-SE y E-O, éstas últimas relacionadas al sistema de fallas corticales Iquipi-Clavelinas y que dividen dos dominios corticales denominados Paracas y Arequipa; por donde fluidos magmáticos ascendieron subverticalmente, desde las profundidades que corresponderían a la corteza inferior- media y al manto superior probablemente por un sistema tectónico, el que representaría un ambiente favorable para el emplazamiento de depósitos minerales (Mamani & Rivera, 2011).

1.1 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en la costa sur media del Perú, entre los departamentos de Arequipa y Ayacucho, abarcando principalmente los distritos de Acarí, Jaquí (Provincia de Caravelí-Arequipa) y Sancos (Lucanas-Ayacucho). Comprenden los cuadrángulos de Jaquí (31-ñ) y Acarí (31-n).

La extensión del área de estudio es aproximadamente 623 Km², abarcando las zonas de Cobrepampa, La Purísima y Canchete básicamente limitando con los Centros Poblados de Otapara y Huarato, en cercanía con las ciudades de Jaquí y Acarí. Geográficamente se encuentra entre las siguientes coordenadas UTM:

Cuadro 1.1
Vértices del área de estudio

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	532660	8326070
2	567000	8326070
3	567030	8307940
4	532660	8307940

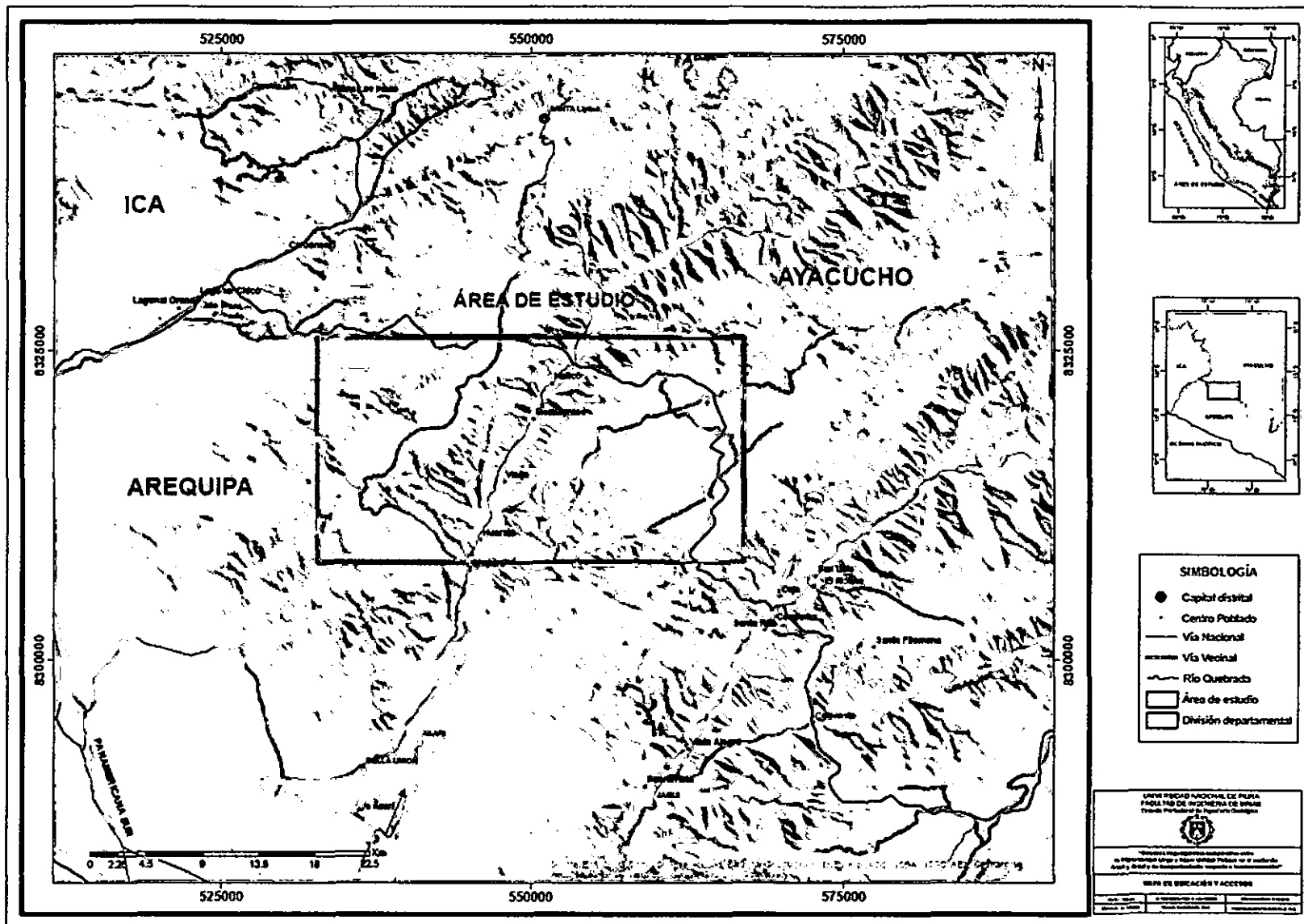
1.2 ACCESIBILIDAD

El acceso al área de estudio es posible por vía terrestre, y comprende una faja paralela a la Carretera Panamericana Sur, a través de la cual se puede ingresar a los distritos y pueblos más importantes como son Acarí, Jaquí y Chala, tomando desvíos hacia el este por carreteras asfaltadas y afirmadas así como caminos de penetración.

Las distancias entre los centros poblados más importantes son:

Cuadro 1.2
Distancias y vías de acceso

RUTA	Km	TIPO DE VÍA	TIEMPO
Lima-Ica	303	Asfaltada	4 horas
Ica-Nasca	130	Asfaltada	2 horas
Nasca-Acarí	100	Asfaltada	1,30 horas
Acarí-Jaquí	60	Asfaltada	1,00 horas
Jaquí-Chala	90	Asfaltada	1,30 horas



Mapa 1.1 Mapa de ubicación y accesos

1.3 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En la zona de Canchete (Jaquí) existen áreas mineralizadas principalmente por oro (Au) relacionadas a la Superunidad Tiabaya las que consisten de vetas hidrotermales como relleno de fracturas y fallas. Este sistema presenta un control estructural (NO-SE y E-O) y un control litológico (mineralización relacionada a intrusivos). Se ha observado también en la zona de Cobrepampa (Acari) que existen áreas mineralizadas principalmente en cobre (Cu) en la Superunidad Linga con características propias.

- ¿Existe información relevante en el área de estudio para realizar la modelación planteada?
- ¿Se podrá comparar geoquímicamente rocas de la Superunidad Linga con las de la Superunidad Tiabaya?
- ¿Existirá relación entre la litogeoquímica y la mineralización en la zona?
- ¿El modelo planteado será suficientemente sustentable para contribuir con la exploración minera de la zona?

Con esta tesis se intentará establecer criterios comparativos que traten de explicar ésta situación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La mineralización en la zona está evidentemente relacionada a estructuras tipo NO-SE y otras E-O pero con este estudio se pretende establecer también relaciones de mineralización con la litología puesto que en la Súperunidad Tiabaya existe mineralización de oro (Au) y Súperunidad Linga existe mineralización de cobre (Cu).

1.5 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general del estudio es:

Establecer parámetros petrográficos y firmas geoquímicas entre la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya, en base al estudio litogeoquímico y sumándose análisis con secciones delgadas y pulidas para poder contribuir al conocimiento de las características geoquímicas de las mencionadas Superunidades.

Los objetivos específicos son:

- Realizar descripciones petrográficas y minerográficas en secciones delgadas y pulidas en muestras de roca.
- Realizar el estudio litogeoquímico de rocas (elementos mayores, elementos traza y tierras raras) comparativo entre la Súperunidad Linga y Súperunidad Tiabaya.
- Elaboración del mapa estructural local, en que se establece relaciones con la litología y la mineralización del área de estudio.
- Presentar los resultados del estudio como plan de tesis para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Piura.

1.6 HIPÓTESIS

A partir de las observaciones de campo y descripciones macroscópicas de las muestras de roca y mena de afloramientos, se plantea reconocer el proceso que dio origen a los diferentes tipos de rocas plutónicas y su relación con la mineralización.

1.7 METODOLOGIA DE TRABAJO

La presente tesis se desarrolló en las siguientes etapas:

1.7.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Consistió netamente en la búsqueda de información existente sobre trabajos realizados y antecedentes en el área de estudio. Se revisaron los informes del Banco Minero, Sociedad Geológica del Perú, Centromin y la base de datos del Ingemmet así como artículos obtenidos del ciberespacio.

1.7.2. TRABAJOS DE GABINETE

Esta etapa consistió en sistematizar la información concerniente a los cuadrángulos geológicos de estudio. Se analizaron y digitalizaron los mapas preliminares que servirían de apoyo en el campo. Además se plotearon los puntos de muestreo, teniendo en cuenta las minas, prospectos y catastro minero. Con la aplicación del software Arc Gis 10.1 se digitalizaron y prepararon los mapas preliminares y finales.

Una herramienta muy importante es la utilización de imágenes satelitales Landsat B4 y Aster B3, así como los filtros direccionales NE-SO, NO-SE, N-S, E-O y el Modelo de Sombras SRTM90, que ayudaron a poder reconocer y digitalizar en los diferentes mapas de gabinete los lineamientos estructurales que podrían estar relacionados con la mineralización.

1.7.3. TRABAJOS DE CAMPO

El trabajo de campo consistió de 25 días en los cuales se recolectaron 112 muestras entre mena y roca para los respectivos análisis químicos y petromineralógicos.

El peso aproximado de mena es aproximadamente 3kg y de roca es 2 kg por muestra, cuyo muestreo se realiza en lugares estratégicos previamente

establecidos en la etapa de gabinete, para posteriormente ser embolsado y etiquetado con su respectivo código. De esta manera, se confirma los datos tomados en gabinete con respecto a la geología, mineralización y geología estructural.

Se toman los datos necesarios respecto a las estructuras en la zona de estudio y las alteraciones hidrotermales si lo hubiera, para corroborarlos con los datos efectuados en la etapa de gabinete.

1.7.4. PROCESAMIENTO E INTERPRETACION

Esta parte se basó esencialmente en el procesamiento e interpretación de los resultados de los análisis geoquímicos de las muestras recolectadas en el campo. Los análisis fueron de elementos mayores, trazas y tierras raras en laboratorios externos con calidad ISO (SGS del Perú SAC). Para posteriormente usar el Software Excel y el Software Adobe Creative Cloud Illustrator para la elaboración de los Diagramas Geoquímicos.

1.7.5. PETROGRAFÍA Y EQUIPOS

Las 31 muestras recolectadas para el análisis petrográfico y minerográfico se enviaron para los respectivos análisis, donde se hace la preparación de las mismas para luego pasar al área de petrotomía donde terminan como briquetas y láminas delgadas para su posterior análisis. Es así como el estudio petrográfico se realizó utilizando un microscopio óptico binocular de luz polarizada y una cámara fotográfica para la captura de imágenes y su posterior edición.

1.8 TRABAJOS ANTERIORES

Básicamente no existen muchos estudios en esta área, pues la mayor parte de la zona está abarcada por la pequeña minería. Lavado (1973) realizó la Geología Económica de la Mina La Argentina-Cobrepampa-Acarí. Caldas (1978) y Olchauski (1980) hicieron la Geología de los cuadrángulos de Acarí y Jaquí respectivamente. Vargas (1978) realizó el Estudio Geológico de la Franja Cuprífera Nasca-Ocoña y Agar (1979) se refirió a la Mineralización de Cu y la Súper Unidad Linga del Batolito de la Costa. Injoque (2002) explica los depósitos de Fe-Cu-Au en el Perú y su vista integral. Muñiz (2007) brindó Aspectos Generales de la Minería Artesanal en la Región Arequipa. Así mismo INGEMMET, viene brindando nuevos aportes especialmente en la minería de pequeña escala con trabajos de Minería a pequeña Escala en la Costa Sur media del Perú (2005 y 2008).

CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en un sector de la Cordillera de la Costa y el Flanco Occidental de la Cordillera de los Andes, el relieve es accidentado con cotas que van desde el nivel del mar hasta los 2 300 msnm.

2.1 HIDROGRAFÍA

Lo constituyen los únicos cursos de agua permanente que cruzan las regiones del área de estudio y que son los ríos Yauca y Acarí, paralelos entre sí, con un rumbo general de N15°E. Estos se encuentran drenados por numerosas quebradas de largo trayecto y fuerte pendiente que generalmente corren de sur a norte los cuales van a desembocar en el Océano Pacífico.

El río Acarí que nace en Puquio y que tiene agua durante todo el año, pero en muy poco caudal. El río Yauca nace en la laguna de Ancascocha, distrito de Chavifía y toma diferentes nombres.

Ambos ríos han labrado profundos cañones con típicas secciones en V.



Figura 2.1 Vista del río Acarí desde el frente del Centro Poblado de Otapara (Acarí).

2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima en el área de estudio es muy variado y esto se debe en especial, a la diferencia de cota, la cual se relaciona también con la distancia al Océano. De igual manera juega un papel importante la configuración del terreno y las diferentes estaciones del año.

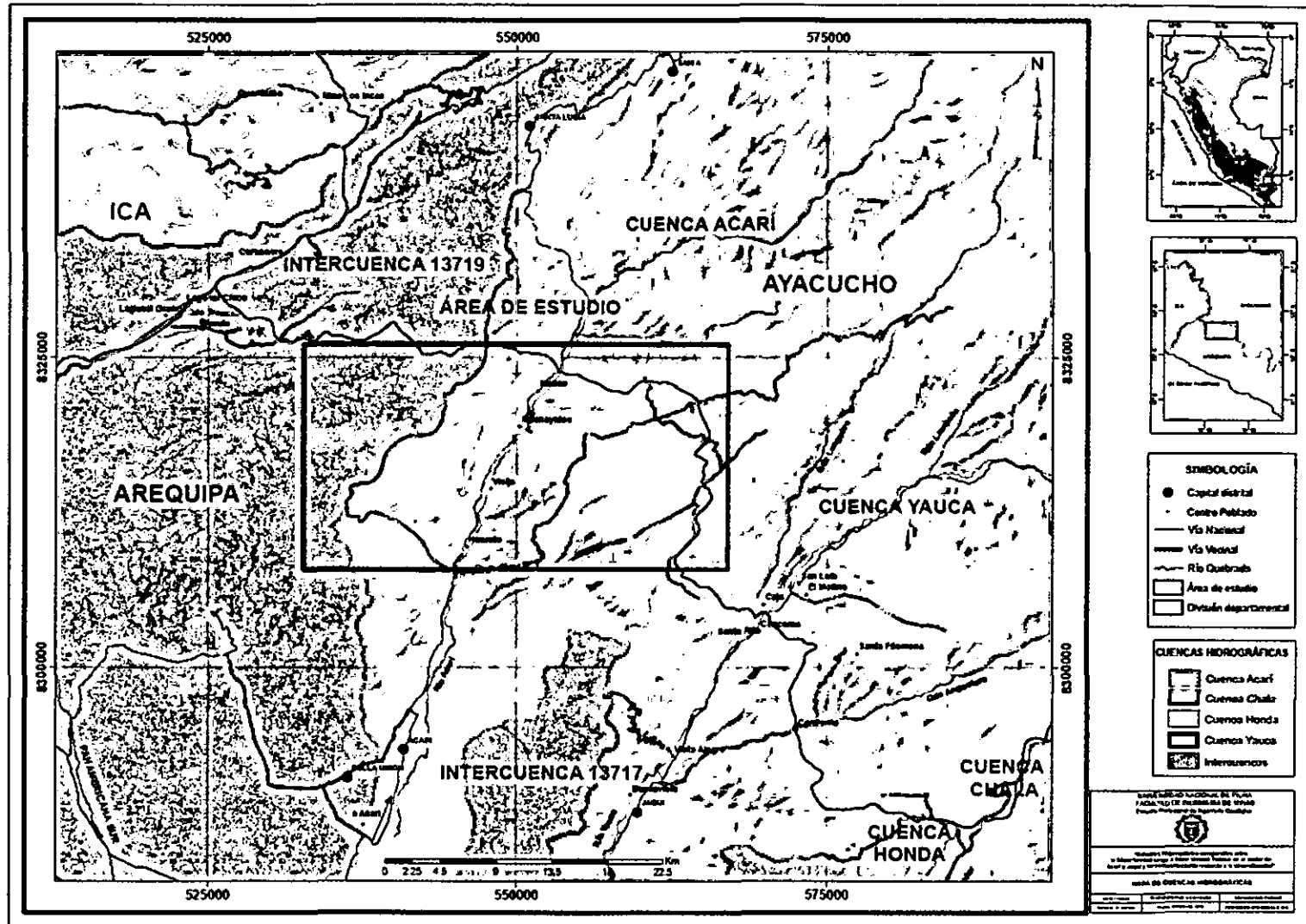
En la cadena costanera, el clima es templado y húmedo, la mayor parte del año está nublado y ocasionalmente se producen finas precipitaciones.

En las peneplanicies situadas entre 1 800 msnm y 2300 msnm el clima es seco, constituyendo una zona árida, donde las lluvias se restringen a los meses de enero, febrero y marzo.

La agricultura se desarrolla en los valles de los ríos Acarí y Yauca, cuyos pobladores se dedican a la plantación de olivares, árboles frutales y al cultivo de productos de panllevar. Además en estos lugares se desarrollan arboles silvestres, el más notable es el *shinnus molle*.



Figura 2.2 Quebrada del río Yauca, donde la vegetación está cerca de los cursos de agua, mientras que alrededor la vista es árida (Jaquí).



Mapa 2.1 Mapa de Cuencas Hidrográficas

2.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Básicamente existen tres unidades geomorfológicas en el área de estudio:

2.3.1 CADENA COSTANERA

Dominio geomorfológico paralelo al litoral. A partir de los 400 msnm el perfil de los cerros se va haciendo cada vez más abrupto y, por lo tanto, la topografía más accidentada. La altitud que alcanzan los cerros es variada, adquiriendo elevaciones que llegan hasta los 3000 msnm.

Estas unidades están disectadas por valles transversales y por numerosas quebradas que han modificado totalmente la antigua superficie de erosión.

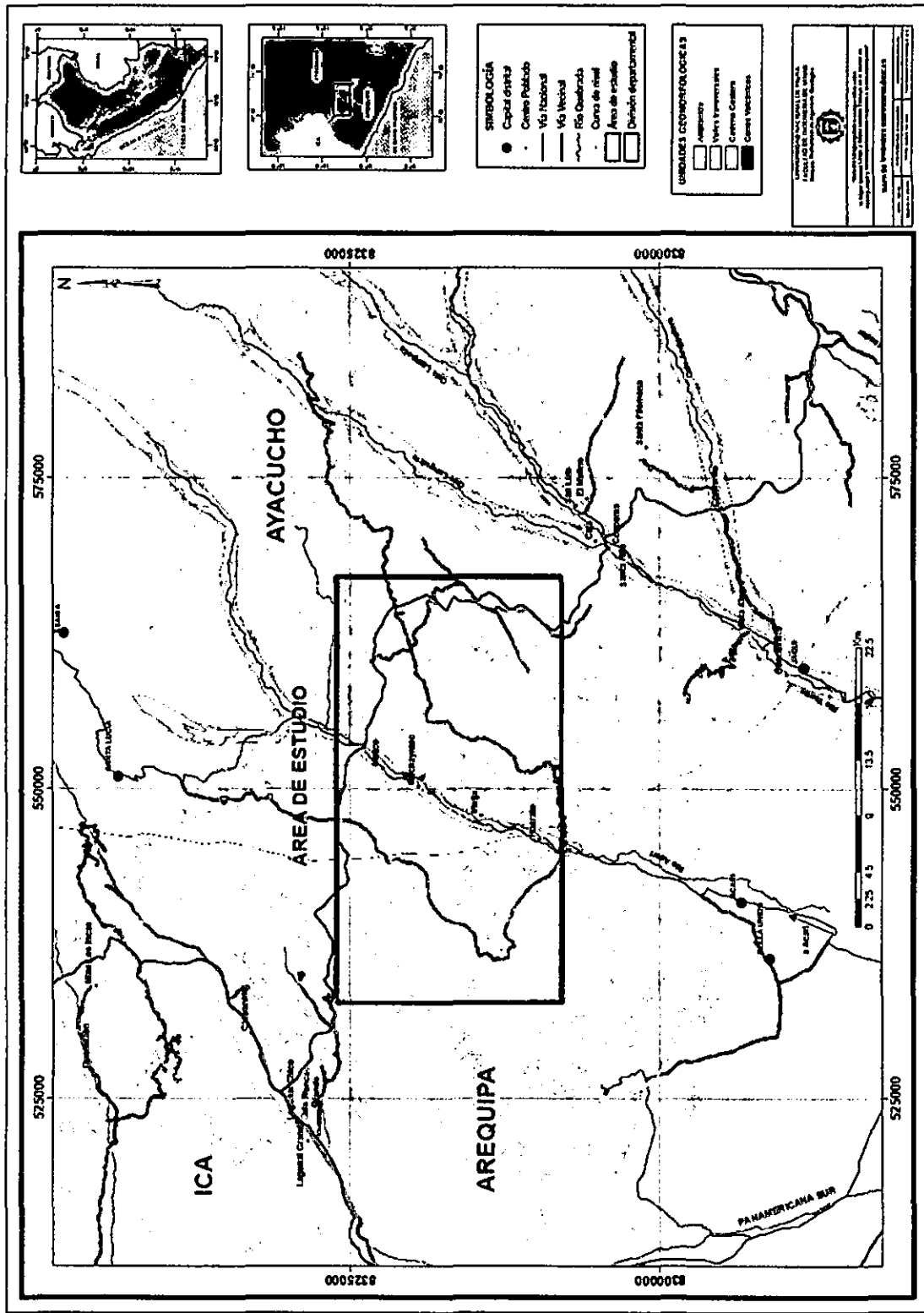
2.3.2 PENEPLANICIE COSTERA

Constituye una superficie de erosión inclinada hacia el SO y está cortada por numerosas quebradas y ríos que drenan hacia el Océano Pacífico. La diferencia de nivel avanza progresivamente de SO a NE, desde los 1500 msnm.

Esta superficie posiblemente comenzó a formarse en el Terciario medio por acción marina y a una altura muy inferior del actual, alcanzando las rocas del Batolito, que han quedado al descubierto por la intensa erosión modeladora del que solo una parte está cubierta en pequeñas áreas por depósitos tobáceos más jóvenes.(Olchauski, 1980).

2.3.3 VALLES TRANSVERSALES

Los principales ríos que drenan el área de estudio son: Acarí y Yauca, donde los cursos de agua van hacia el Océano Pacífico con una dirección SO, a su vez estos ríos presentan a lo largo de su recorrido numerosos sistemas de drenaje que, de acuerdo a la litología, tienen patrones característicos, observándose profundos y estrechos valles transversales que cortan las unidades rocosas.



Mapa 2.2 Mapa de Unidades Geomorfológicas

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 ESTRATIGRAFÍA

El Mesozoico está representado por el Grupo Yura (Formación Labra) del Jurásico superior que ocupa el sector NE del cuadrángulo de Acarí y está compuesto por una secuencia de bancos de areniscas de grano fino de color gris claro que se intercala con lutitas y limolitas de color gris verdoso a marrón y además de la Formación Hualhuani del Cretácico inferior representado por areniscas cuarzosas maduras blancas con intercalaciones menores de limolitas pizarrosas. El Complejo Santa Rita del Cretácico superior está representado por un complejo de rocas metamorfizadas, en la cual se observan rocas sedimentarias y metamórficas afectadas por metamorfismo de contacto de los intrusivos que forman el Batolito de la Costa y se extiende al extremo suroeste del cuadrángulo de Jaquí.

El Cenozoico está representado por la Formación Moquegua del Mioceno inferior que está ubicada en el sector suroeste del cuadrángulo de Jaquí y en la cual se han reconocido depósitos continentales que pertenecen a esta formación. La Formación Maure ocupa una mínima porción en el área de estudio y cuya litología es variable, consiste de una intercalación de brechas, conglomerados, areniscas, tufitas, limolitas de naturaleza volcánica. La Formación Huaylillas del Mioceno medio está compuesta por flujos piroclásticos que ocupan el sector noroeste del cuadrángulo de Jaquí. El Grupo Nasca del Mioceno medio está compuesto por tobas de cristales de naturaleza riolíticade color blanquecino, aglomerados y tobas de lapilli encontrándose hacia el sector sureste del cuadrángulo de Acarí.

Depósitos Fluviales, Eólicos, Aluviales y Coluviales del Cuaternario completan la secuencia.

3.1.1. MESOZOICO:

GRUPO YURA:

FORMACIÓN LABRA: Es una secuencia constituida de bancos de areniscas de grano fino de color gris claro que se intercala con lutitas y limolitas de color gris verdoso a marrón. Su reconocimiento en el campo es por su litología y morfología que presenta una topografía propia de estas rocas. Se encuentran mejor distribuidas hacia el sector NO del área de estudio cubiertas en algunos sectores por las tobas del Grupo Nasca.

FORMACIÓN HUALHUANI: Se observan como capas gruesas de cuarciarenitas blancas. Esta formación constituye un buen estrato guía porque se distribuye a manera de una franja bien definida por su topografía muy agreste. Se le asigna una edad del Neocomiano superior (Cretácico inferior) (Díaz & Milla, 2003).



Figura 3.1 Areniscas Labra del Grupo Yura actuando como roca caja en el emplazamiento de las vetas (Sector Pampa Tullucata)

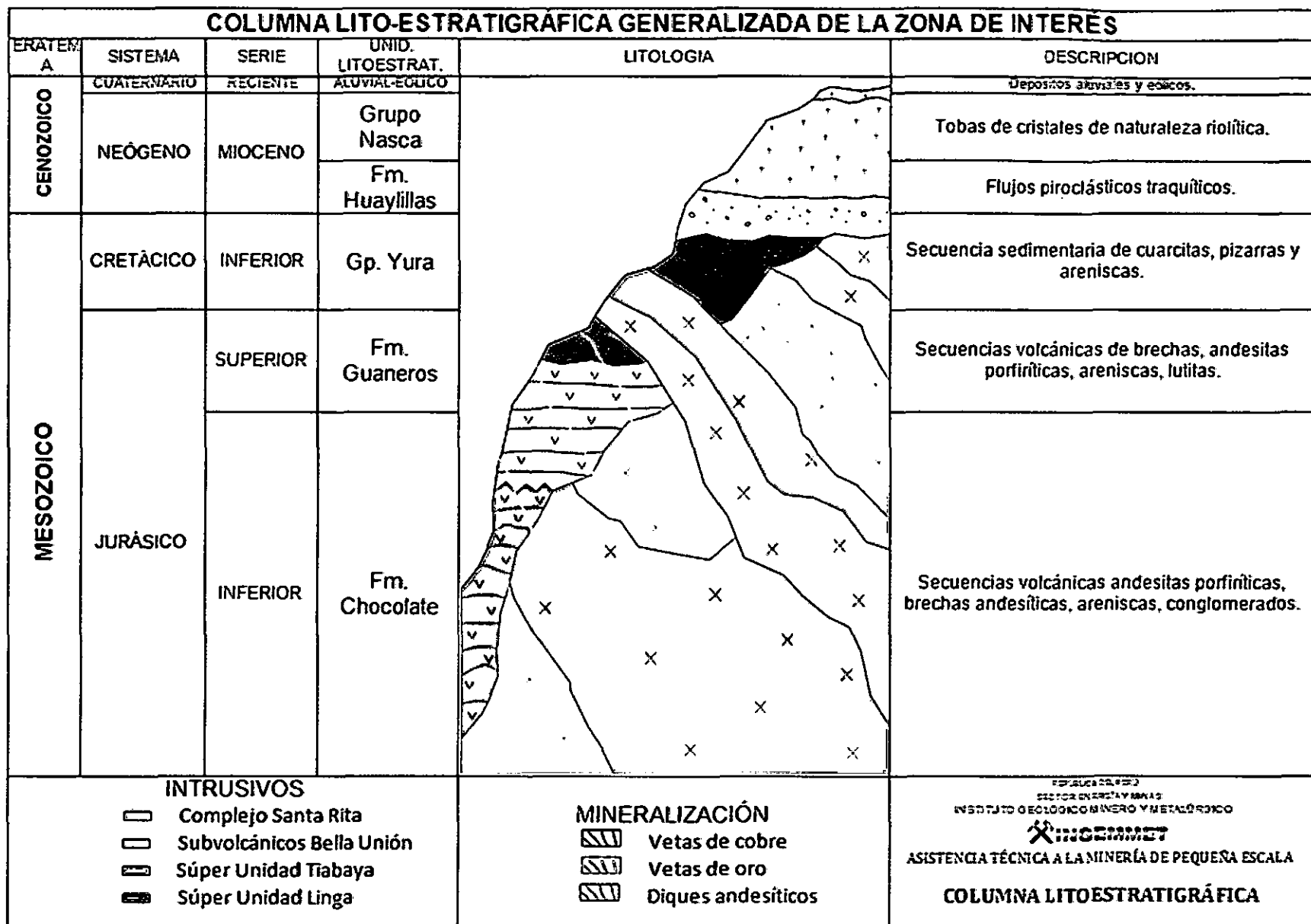


Figura 3.2 Columna Litoestratigráfica del área de estudio (Tomado y Modificado de Arcos & Calderón, 2013)

COMPLEJO SANTA RITA: Se encuentra al SE de la zona de estudio y se observa como un complejo de rocas metamorfizadas, comprendiendo una faja con rumbo N45°O. Se le llama así porque han sido producto del metamorfismo de contacto desarrollado por la intrusión del Batolito de la Costa, este se produjo sobre las rocas sedimentarias, volcánicas y dioritas precursoras, por la intrusión de la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya, es así que los encontramos como techos colgantes. Los metavolcánicos y metaintrusivos se caracterizan por su aspecto lustroso, las rocas predominantes son dioritas piroxénicas, dioritas cuarcíferas y andesitas, intruidas a su vez por pequeños plutones y diques de andesita.

Presenta mineralización hacia el Sector Cerro Los Colorados y Motuto que, presumiblemente, tenga las mismas características que la zona de Machaynioc en el río Acarí.

3.1.2. CENOZOICO:

FORMACIÓN MOQUEGUA: Se observa en la parte sur de la zona de estudio ocupando una pequeña porción. Litológicamente está constituido por conglomerados con clastos de cuarciarenita, volcánicos y gneis. Hacia los niveles superiores se encuentran areniscas conglomerádicas semiconsolidadas intercaladas con niveles de tobas. Diaz & Milla (2013) le asignan una edad de Plioceno inferior.

FORMACIÓN MAURE: Se le describe conformando una serie sedimentaria inferior y un paquete tobáceo volcánico superior que se encuentran separados por una discordancia. Litológicamente es muy variable y consiste de una intercalación de brechas, conglomerados, areniscas, areniscas tufáceas, tufitas, limolitas y arcillas. Se le observa hacia el lado noroeste del área de estudio.

FORMACIÓN HUAYLILLAS: Se le observa en el sector NE del área de estudio hacia la zona de Canchete. Su presencia es en forma aislada y se encuentran cubriendo a los intrusivos que están ampliamente desarrollados. Son flujos piroclásticos traquíticos. Se le asigna una edad del Mioceno medio.

GRUPO NASCA: En el sector NO de la zona de estudio se expone una secuencia de tobas de cristales de naturaleza riolítica de color blanquecino, aglomerados y tobas de lapilli que se extienden como plataformas inclinadas siguiendo las cumbres de los cerros aledaños. Las dataciones indican una edad entre los 20 y 18 Ma y ubicándolas en el Mioceno Medio.

3.1.3. DEPÓSITOS CLÁSTICOS RECIENTES:

Bajo este concepto se han agrupado a los depósitos tales como conos aluviales, depósitos coluviales, depósitos fluviales y depósitos eólicos.

Dentro de los conos aluviales se consideran aquellos que son de origen netamente aluvial y que están constituidas principalmente por conglomerados. Los depósitos fluviales constituyen el lecho de los actuales ríos y están formados por rodados, gravas y arenas.

Las acumulaciones eólicas se encuentran desarrolladas desde el nivel del mar hasta los 1 400 m. La arena ha sido transportada por el viento, siguiendo una dirección NO, paralelamente a la línea de costa y al nivel del mar y controlada por la topografía, pero en la parte más oriental varía la dirección hacia el NE.

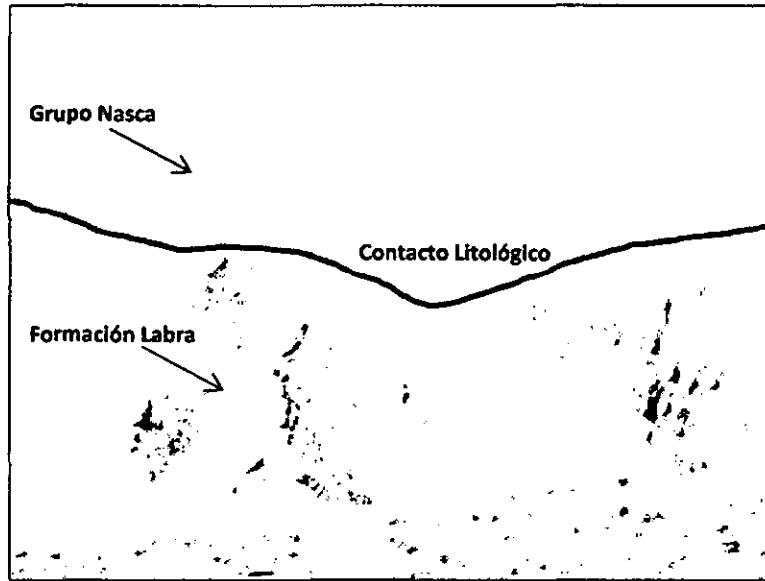


Figura 3.3 Vista del Grupo Yura (Areniscas Labra) cubiertas por Tobas del Grupo Nasca (Zona Pampa Tullucata-Acarí)

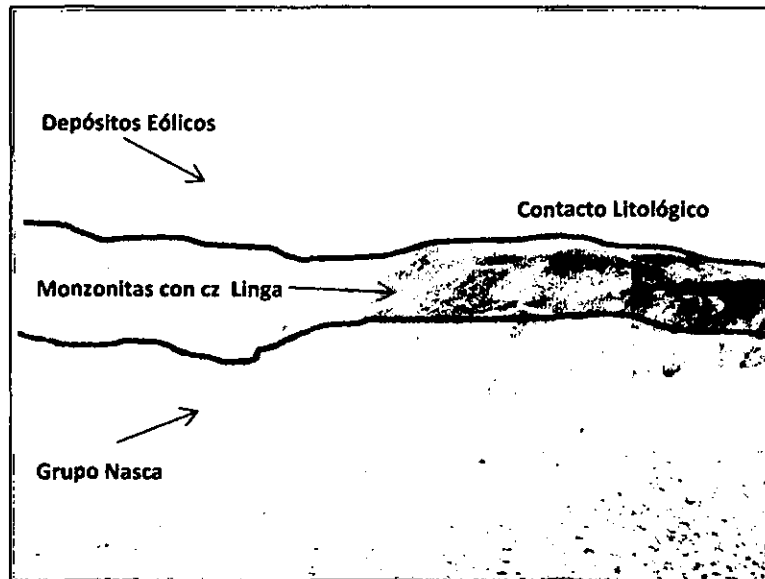
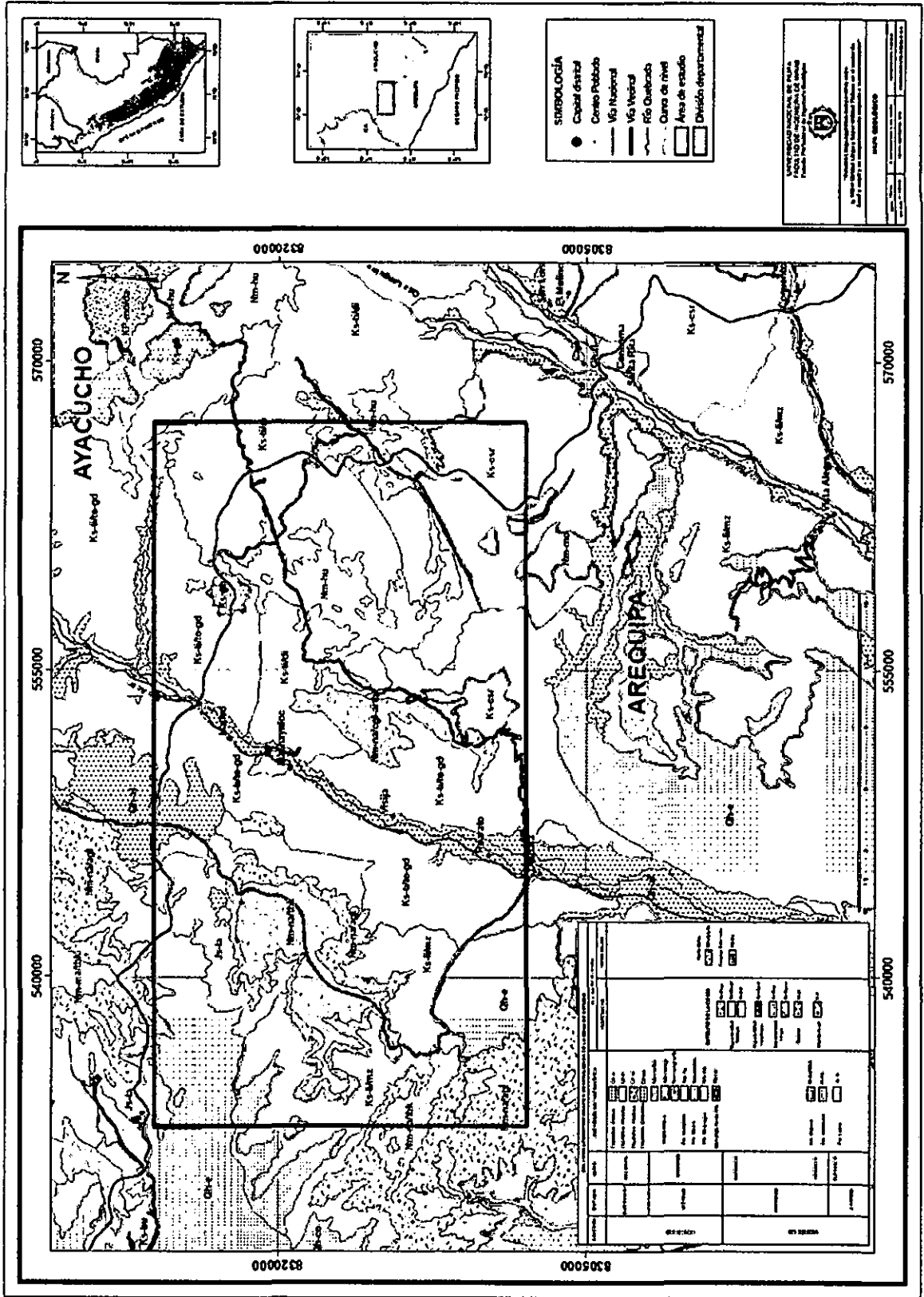


Figura 3.4 Vista de la Quebrada Trancas Grande, que muestran el contacto de las Tobas del Grupo Nasca con las Monzonitas con cuarzo de la Superunidad Linga. Hacia el fondo de la misma se observan Depósitos Cuaternarios eólicos cubriendo los estratos sedimentarios del Grupo Yura.



Mapa 3.1 Mapa Geológico

3.2. ROCAS INTRUSIVAS

3.2.1. MAGMATISMO MESOZOICO-CENOZOICO

El magmatismo es un conjunto de procesos en los que intervienen los materiales de la Tierra cuando se encuentran fundidos o en forma de magma y están asociados en las manifestaciones de la energía interna terrestre. Los batolitos son grandes cuerpos intrusivos que se extienden por cientos de kilómetros y que además son formados como consecuencia de una intensa actividad magmática, relativamente continua en el tiempo que se caracteriza por presentar pulsos de variada magnitud, éstos se suceden en forma intermitente.

Se emplazan en el orden de millones de años. El Batolito de la Costa del Perú comenzó a emplazarse en el Cretácico Inferior y finalizó en el Mioceno, con una duración aproximada de 70ma. Durante ese tiempo se registraron varios pulsos, separados por periodos de menor actividad. En el Oligoceno la actividad magmática disminuyó notablemente registrándose muy pocos plutones reflejando la disminución generalizada de la actividad magmática en toda la Cordillera de los Andes.

El emplazamiento del Batolito de la Costa fue controlado por fracturas de crecimiento a todas las escalas y los magmas fueron canalizados a niveles altos de la corteza a lo largo de un mega lineamiento único, para finalmente intruir en la forma de centenares de plutones separados. (Pitcher, 1978)

Atherton (1990) hace una crítica de la evolución del Batolito de la Costa Peruana, planteándose dos alternativas; el Batolito ¿es producto de un rápido reciclamiento? o ¿una nueva corteza originada a partir de un rift continental? Aguirre (1989) indica que el batolito es producto de una cuenca volcánica-metamórfica (termalismo), extensión, subsidencia y fracturamiento.

Boily, Brooks, James (1984) y Romeuf (1995) llegan a la conclusión que son rocas calcoalcalinas ricas en K y Zr que podrían ser explicadas en grados diferentes de fusión parcial o por diferencias en el grosor cortical.

3.2.2. TECTONISMO MESOZOICO-CENOZOICO

Esta fase del Tectonismo corresponde al Ciclo Andino, es así como el Batolito de la Costa se emplaza (fines del Cretácico inferior) conformando un gran cuerpo intrusivo. La secuencia composicional del Batolito oscila, de más básica a más ácida, cuyas pulsaciones van desde 100 hasta 40 Ma (Pitcher, 1978). Su dirección es paralela a la costa, lo que origina un leve metamorfismo en las unidades adyacentes.

El Ciclo Andino está caracterizado por un intenso magmatismo de borde continental activo. Antes de producirse el emplazamiento del Batolito de la Costa, se inicia el emplazamiento de los gabros y/o dioritas y gabrodioritas de edad 103 Ma; se consideran además precursoras al emplazamiento del Batolito.

EDAD	ERA		CICLO	FASE
1.8 Ma	C	CUATERNARIO	ANDINO	Fase Quechua 3: Levantamiento, fallamiento y vulcanismo
	E	NEOGENO		Fase Quechua 2: Lev Falla, vulcanismo
	N			Fase Quechua 1: Fallamiento, levantamiento y erosión (Puna), y vulcanismo
	O			Fase Inca: Plegamiento, fallamiento, plutonismo y vulcanismo (Batolito de la Costa)
64	Z	PALEOGENO	HERCINICO	Fase Peruana: Plegamientos y fallamientos
	M	CRETACICO		Fase Inter Albiana: Deformación
		E		JURASICO
130	Z		TRIASICO	HERCINICO
	190	PALEOZOICO	HERCINICO	
265				PALEOZOICO
	570	PRECÁMBRICO	CALEDONICO	
570				PRECÁMBRICO
	Fase 2			
	Fase 3			
	Fase 4			

Cuadro N° 3.1: Ciclos Orogénicos

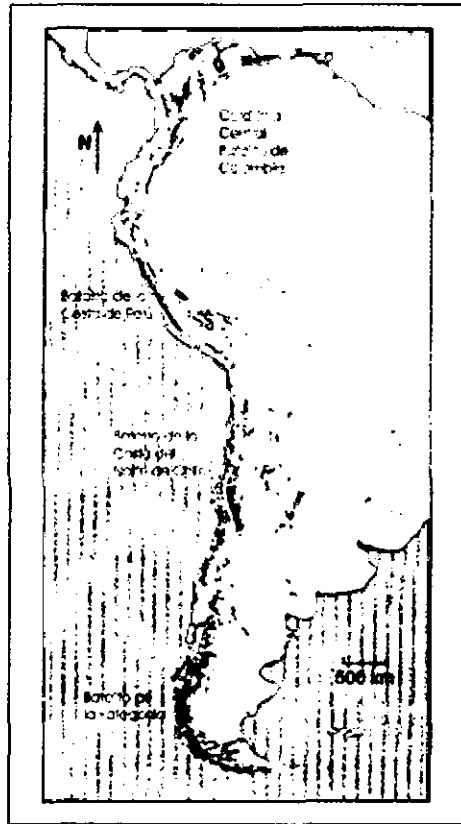


Figura 3.5

El Batolito de la Costa, abarca desde Venezuela hasta la Patagonia (Chile/Argentina). Es un batolito múltiple y compuesto emplazado en el borde continental producto de la subducción de la Placa Nasca, aunque existe plutonismo en las cuencas de trasarco (backarc) pero ligado mayormente al magmatismo paleozoico y producido en un ambiente de rift. Esta faja orogénica también es conocida como una "Cordillera Magmática". Tomado de Winter, 2001.

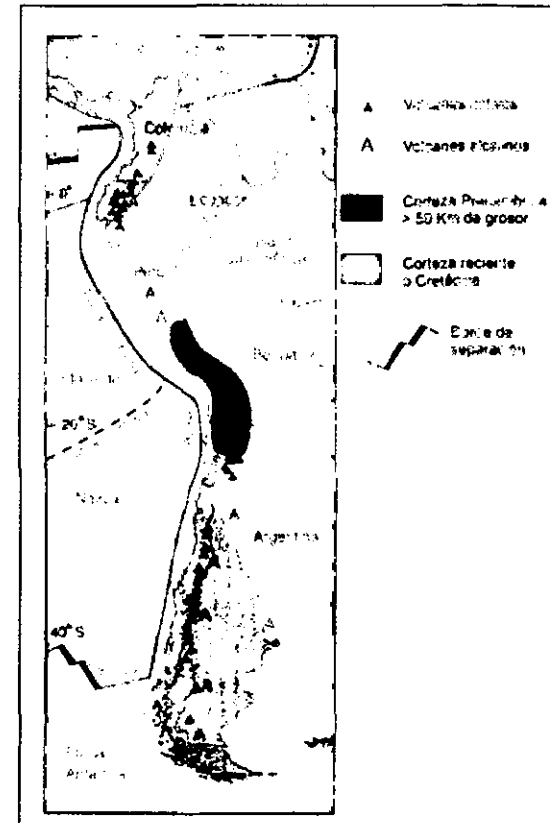


Figura 3.6

Ubicación del magmatismo y tectónica en Sudamérica, el Perú pertenece a la Zona Volcánica Central (CVZ) caracterizada por un magmatismo calco-alcalino e intermedio entre la NVZ y la SVZ (materiales más primitivos) Tomado de Thorpe et al, 1984.

3.2.3. EL BATOLITO DE LA COSTA SUR DEL PERÚ

El Batolito de la Costa es una intrusión múltiple y compleja que está formada predominantemente por tonalitas y granodioritas que ocupan el núcleo de la cordillera occidental. Pero aun así existe gran variedad de rocas expuestas en el Batolito de la Costa. El porcentaje de área que ocupan estas rocas son: gabrodioritas (15.9 %), tonalitas-granodioritas (57.9%), monzonitas (25.6%) y granitos (0.6%). El orden de intrusión de básico a ácido es también regular, aunque se pueden distinguir dos tipos de ritmos básico-ácido: Un primer ritmo principal que da lugar a los cuerpos más extensos como son gabros, diorita y diorita cuarcífera; y el segundo ritmo tardío de tonalita-granodiorita y sienogranitos.

En el suelo peruano el Batolito de la Costa tiene 1 600 km de largo y más de 65 km de ancho. Está constituido por cientos de plutones individuales, agrupados en un número limitado de Superunidades (Pitcher, 1974). Por su composición se le ha dividido en cinco segmentos: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. Cada una de éstos se caracteriza por un ensamble litológico particular (Cobbing et al, 1977); el segmento de mayor longitud es el de Arequipa con 900 km de largo.

El orden de emplazamiento de los plutones en el Segmento de Arequipa está dada de la siguiente manera: (1) gabros tempranos y dioritas, (2) Superunidad Linga (Stewart, 1968), (3) Superunidad Pampahuasi, (4) Superunidad Incahuasi y (5) Superunidad Tiabaya (Jenks, 1948; Jenks y Harris, 1953). En la mayor parte de su longitud, el batolito está emplazado entre secuencias predominantemente volcánicas, existiendo también otras áreas donde encontramos unidades más antiguas.

De ello en un modo general, podemos decir que la geometría que componen los macizos del Batolito son controlados por el orden regular del emplazamiento, es decir desde los más básicos a los más ácidos.

Las rocas más básicas afloran en el borde del Batolito o en el seno de las unidades ácidas más recientes, formando macizos sin forma definida con una superficie menor a los 100Km². Las rocas más ácidas forman macizos de manera de columnas alargadas paralelas a la dirección del batolito pudiendo llegar a tener 100 km de largo y de 10 a 20 km de ancho.

3.2.4. EL SEGMENTO AREQUIPA

El Segmento Arequipa del Batolito de la Costa está constituido por cuerpos de algunos kilómetros hasta afloramientos individuales. El porcentaje areal para este segmento según Jenks y Harris(1979) es: gabrodiorita (7%), tonalita (55%), granodiorita y monzonita (32%) y granito (4%). Sus características mineralógicas indican la pertenencia de éstas rocas a una serie calcoalcalina, confirmada por análisis químicos en el Sur del Perú (Beauregard 1938; Jenks y Harris, 1953).

Según estudios, está compuesto por las siguientes Superunidades: Superunidad Patap, Superunidad Linga, Superunidad Pampahuasi, Superunidad Incahuasi y Superunidad Tiabaya (Cobbing, 1980).

Para el área de estudio se exponen la Superunidad Linga y la Superunidad Tiabaya. La Superunidad Linga muestra una variación litológica de monzogabros a monzonitas, se distribuye desde Arequipa hasta Ica, las dataciones Rb-Sr determinaron una edad de 96 ± 3 Ma (Beckinsale et al, 1985) y edades K-Ar entre 94 y 97 Ma (Beckinsale, ref.cit.). La Superunidad Tiabaya está compuesta por granodioritas a monzogranitos, aflora entre Arequipa y el Valle de Cañete, llegando incluso algunos afloramientos, a Pachacamac. Muestras obtenidas en el río Cháparra reportan edades de 78 Ma determinadas por el método Rb-Sr (Beckinsale, ref.cit.), en el valle de

Ica edades K-Ar entre 77 y 85 Ma (Beckinsale, ref.cit.) y por último, en el río San Juan con 76 Ma (Beckinsale, ref.cit.).

		SUPERUNIDAD	EDAD	LITOLOGÍA/DESCRIPCIÓN
S E G M E N T O D E A R E Q U I P A	T O N A L I T A	Tiabaya Se extiende a lo largo de todo el segmento.	K - Ar 81 Rb - Sr 80	Granodiorita de hornblenda-biotita, con variaciones menores a tonalita y monzogranitos.
		Incahuasi Es la más importante Súperunidad del Segmento, continuando al sur del río Vitor 30 km al NW de Arequipa.	K - Ar 83 Rb - Sr 78	Las litologías predominantes son granodioritas de hornblenda - biotita y cuarzo monzodioritas, existiendo variaciones a cuarzo dioritas y monzogranitos.
		Pampahuasi El afloramiento está restringido a unos 105 km de longitud dentro de la Franja Ica-Pisco.	K - Ar 94 U - Pb 94	Unidad temprana de tonalitas de hornblenda - biotita a cuarzo diorita. Unidad tardía tonalita leucócrata de hornblenda-biotita
	M O N Z O G R A N I T O	Linga Ocurre a lo largo del Flanco Oeste del Segmento.	K - Ar 97 Rb - Sr 96 U - Pb 101	Esta dentro de un rango de litologías monzoníticas, tenemos desde monzogabros a monzogranitos.

Cuadro 3.2 Cuadro Resumen de las Superunidades emplazadas en el segmento Arequipa del Batolito de la Costa, Tomado y modificado de Pitcher, 1985

El Segmento Arequipa es el de mayor longitud y tiene 900 km de largo aproximadamente, en este están enmarcadas ocurrencias intrusivas dentro de un conjunto de Superunidades y unidades que describiremos a continuación:

DIORITA ACARÍ: Se encuentra hacia el sector oeste del área de estudio y altamente relacionado al yacimiento minero de Hierro Acarí, asociado geográficamente al Batolito de la Costa. Se le denomina Plutón de Acari (Borkowski, 1970) por su detallada petrología y mineralogía.

La diferenciación magmática durante su emplazamiento dio lugar a la formación de tres tipos de rocas: una diorita marginal de grano fino, una diorita central de grano grueso y una diorita cuarcífera aplítica que las cruza.

Se presentan a manera de stocks. La roca es color gris en fractura fresca y gris parduzco por meteorización, tiene textura holocristalina, de grano medio, con abundante cantidad de plagioclasas (70%), ferromagnesianos (20%) y menor porcentaje de cuarzo. La roca presenta meteorización esferoidal. Un estudio petrográfico reciente indica la presencia de una Diorita holocristalina fanerítica con textura equigranular (Ccallo. et al, 2012).

GABROS: La evolución del Segmento de Arequipa se inicia con la intrusión de grandes volúmenes de magma básico. Esos afloramientos de gabros fueron diseccionados y erosionados por el emplazamiento de granitoides jóvenes (Moore, 1979 & Agar, 1978).

La mineralogía de los gabros sugiere una diferenciación representada por gabros de olivino-augita-hornblenda, gabros de olivino-augita-hiperstena-hornblenda, gabros de augita-hornblenda, gabros hornbléndicos y dioritas (Bussell, 1975; Mullan y Bussell, 1977, Regan, 1976; Agar, 1978; Moore, 1979).

Los gabros que se encuentran en una pequeña porción del área de estudio hacia el sector NE del área de estudio en el Cerro Canchete y otro a 10 km

del mismo son unas de las rocas más antiguas de este segmento batolítico, y una datación radiométrica indica haberse emplazado hace 102 Ma.

SUPER UNIDAD LINGA: Después de los gabros y las Dioritas Acarí la Superunidad Linga corresponde a los emplazamientos más antiguos del Segmento Arequipa, sus afloramientos están restringidos al margen occidental del área de estudio a lo largo de una franja NO-SE con un ancho promedio de 15 km encontrándose mejor expuesto en el sector de Cobrepampa. Fue descrita en detalle en la quebrada Linga en Arequipa por Stewart (1968) y es la más variable de las Superunidades conformada aproximadamente por unas 30 unidades.

Se consideraba a la Superunidad Linga como un grupo de rocas híbridas producidas por un metasomatismo potásico (Stewart 1968, Hudson 1974), pero se demostró convincentemente que la Superunidad Linga corresponde a un grupo específico de rocas dentro del Batolito derivado de un magma común (Agar & Le Bel, 1978).

La litología predominante es la monzonita y pequeños cuerpos de monzonitas con cuarzo, pero tiene variaciones internas, tamaño granular variable, feldespato potásico y poca biotita. Otra característica notable es que las plagioclasas se encuentran frecuentemente zonadas.

En el sector de Acarí la Superunidad Linga conjuntamente con la Diorita Acarí son las más importantes desde el punto de vista de la Geología Económica puesto que está relacionada con la mineralización de cobre en Cobrepampa, y con la mineralización de oro en Cerro Alalo y Cerro Buena Vista y hacia el Sector de la Mina Orión.

El área perteneciente al cuadrángulo de Acari se le conoce como Monzonita Cobrepampa (Caldas, 1978) donde está estrechamente vinculado a un sistema de vetas de cobre. Las rocas de esta Superunidad registran una edad de 97 Ma y se asume responsable de la mineralización de Cu, Fe y Mo (Cobbing et al, 1977).

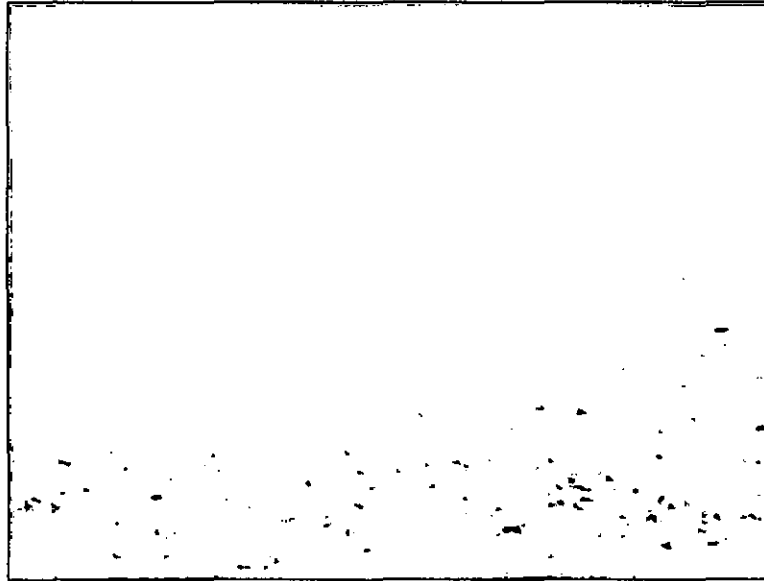


Figura 3.7 Vista del Cerro Canchete (Gabros). Alrededor se observan las Tonalitas-Granodioritas de la Superunidad Tiabaya

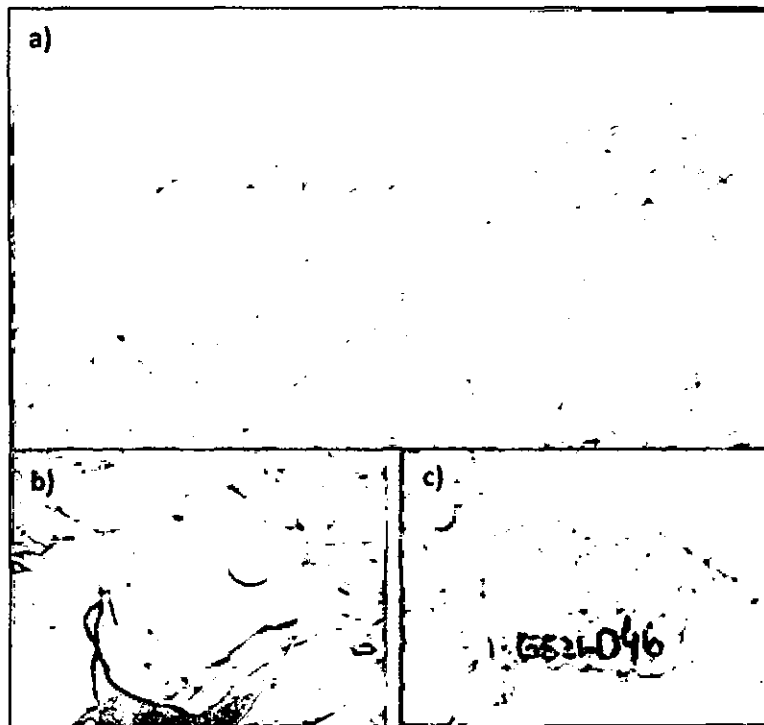


Figura 3.8a) Vista en el área de Machaynioc (Acarí) de Dioritas de la S.U Tiabaya con rellenos de falla cuya mineralización está asociada a diques andesíticos. b) Monzonita de la S.U Linga. La coloración rosada es producto de la alteración potásica, extraída del área de Cobrepampa. c) Granodiorita de la S.U Tiabaya. Es la más abundante en el área de estudio, extraída del área de Machaynioc. a y b tomadas de Arcos & Calderón, 2013.

SUPER UNIDAD TIABAYA: Esta Superunidad corresponde a la secuencia final de intrusión del Batolito de la Costa y tiene la peculiaridad, en forma general, de haberse emplazado a lo largo de una faja central y longitudinal, limitada en el SO por la Superunidad Linga, corresponde a la secuencia de mayor volumen encontrándose expuesta en toda el área de estudio.

Litológicamente se halla compuesta por grupos de rocas, productos de una cristalización fraccionada de máfico a félsico, diorita, tonalita, granodiorita y monzogranitos (Olchanski, 1980). Todas las rocas se caracterizan por un grano fanerítico y textura granítica a hipidiomórfica con cuarzo intersticial.

En el cuadrángulo de Acari a la Superunidad Tiabaya se le conoce como Tonalita Calapampa y Diorita Calapampa (Caldas, 1978). Está relacionada con la mineralización de oro y cobre en las áreas de Canchete, Santa Filomena, San Luis. Estas rocas registran una edad de 82 Ma (Moore et al, 1985).

INTRUSIVOS SUBVOLCANICOS

COMPLEJO BELLA UNION: La denominación corresponde a Caldas (1978), al describir un enorme volumen de rocas subvolcánicas, que intruyen a formaciones del Cretácico inferior. En el área de estudio solo ocupa una pequeña porción hacia el lado sur del mismo y por el lado de la quebrada Trancas hacia el norte.

Litológicamente está constituido por andesitas y dacitas porfíricas marrones o violáceas, como brechas intrusivas de grandes bloques angulares y subangulares cortados por diques dacíticos y andesíticos, con tonos que varían a gris-verdes por alteración hidrotermal. El feldespato principal es la andesina, los accesorios son clinopiroxenos, presentándose raras veces hornblenda, tienen abundantes minerales opacos y los minerales secundarios son sericita, hematita, calcita y cuarzo. Se extiende a lo largo de la faja de dirección E-O a NO-SE, limitado por grandes lineamientos estructurales que

posiblemente controlen su emplazamiento bajo un evidente control estructural (Olchanski, 1980).

DACITA MOLLES: Se conoce con este nombre a una dacita hipabisal que aflora hacia el sector NE y casi al límite del área de estudio, a lo largo de una falla longitudinal NO. Tiene una longitud aproximada de 9 Km, y un ancho promedio de 1 Km. Litológicamente son dacitas de textura porfírica y grandes granos de cuarzo en una matriz afanítica grisácea. La edad de emplazamiento está entre los 102 Ma hasta 80 Ma (Cobbing, 1979).

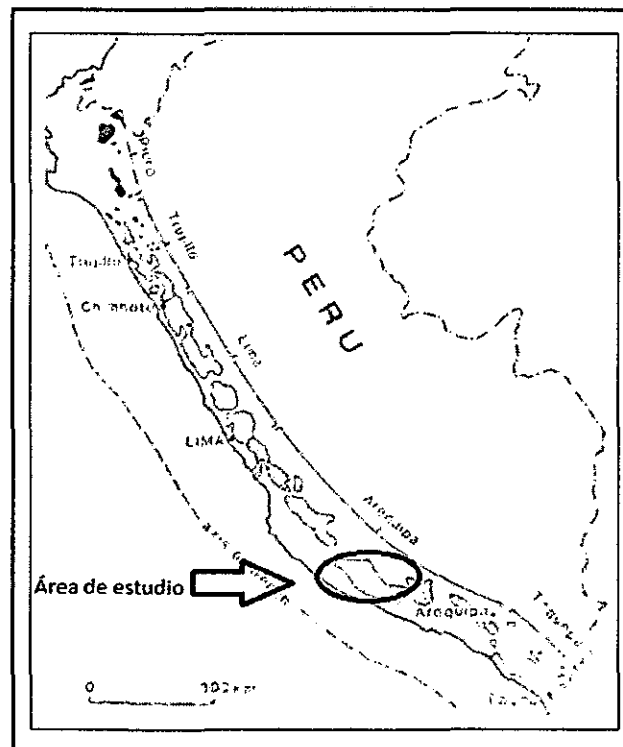


Figura 3.9
Segmentación de las Superunidades del Batolito de la Costa y la distribución de los plutones, Tomado y modificado de Pitcher, 1985

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras del área están relacionadas principalmente con los movimientos tectónicos del ciclo andino. Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud y el estilo de deformación que han sufrido las rocas debido en parte a su diferente naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado, materializados ellos por pliegues, fallas y diaclasas que se observan en todas las rocas. En general, el Sistema Andino en el Perú presenta una orientación NO-SE.

Pliegues, fallas y diaclasas ponen de manifiesto la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado en el área de estudio y han diferenciado básicamente dos zonas estructurales: zona de fallamiento en bloques y zona de emplazamiento del Batolito de la Costa (Olchanski, 1980). Por medio del estudio de las Imágenes Satelitales Landsat B4 y Aster B3, así como los filtros direccionales NE-SO, NO-SE, N-S, E-O y el Modelo de Sombras SRTM90, se han podido delimitar los lineamientos estructurales y resaltar con mayor exactitud las estructuras existentes.

4.1 ZONAS MORFOESTRUCTURALES

4.1.1. ZONA DE FALLAMIENTO EN BLOQUES:

Hacia el lado de Acarí la zona está afectada por una típica tectónica de fallamiento en bloques afectando principalmente a las formaciones mesozoicas. Dichas formaciones no se hallan plegadas y adoptan una estructura homoclinal orientada hacia el N o NO. Esta inclinación, se debe más que nada, al efecto del fallamiento en bloques, que caracteriza a toda esta franja de los Andes. Así el Paleógeno no ha sido afectado compresivamente, pero se encuentra fallado.

4.1.2. ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL BATOLITO DE LA COSTA:

Consiste en un fracturamiento profundo y de dirección NO. Este proceso tuvo lugar entre el Cretácico y el Terciario inferior. El Batolito de la Costa está localizado entre la zona plegada y la zona de fallamiento en bloques, ocupando una ancha faja longitudinal que cruza el área de estudio, constituido por una serie de grandes cuerpos plutónicos de diferente composición, los mismos que han producido un metamorfismo de contacto en las rocas encajonantes, como se puede apreciar en la zona de Machaynioc(Río Acarí) en donde se observan dioritas piroxénicas y microgabros hornfésicos conformando el Complejo Santa Rita (Caldas, 1978; citando a Olchanski), asociadas a vetas de cobre.

La intrusión batolítica no ha participado en la formación de pliegues y fallas. Al respecto Belousov (1971) dice: “Los Batolitos que intruyen en la corteza en grandes masas, no ejercen por lo general, una considerable influencia mecánica en las rocas circundantes”.

4.2. LINEAMIENTOS INTERPRETADOS

4.2.1. LINEAMIENTOS REGIONALES

Utilizando las Imágenes Satelitales Áster Banda 3 y Landsat Banda 4 se realizó la interpretación de los lineamientos existentes en el área de estudio. Se pudieron comprobar a través del uso de los filtros Áster E-O, Áster NE-SO, Áster NO-SE, Áster N-S y el Modelo de Sombras.

Los Lineamientos Regionales Longitudinales NO-SE más importantes están dados por la Falla Regional Cuesta del Molino, que se encuentra recorriendo el lado occidental de la zona de estudio y que es la que lleva el control de la Franja de Cu, la misma que ha permitido la exhumación de la zona de sulfuros primarios. Asimismo, la Falla Filomena que hacia el lado este es la que controla el emplazamiento de las vetas de Au de los sectores de Canchete, Santa Filomena y San Luis.

4.2.2. LINEAMIENTOS PREFERENCIALES LOCALES

Los lineamientos más importantes son los pertenecientes al Sistema Génova E-O que se encuentra establecido en la zona de Cobrepampa delimitada por la Falla Romerillo y la Falla Regional Cuesta del Molino, además en los sectores de Canchete y Santa Filomena también se pueden observar estos lineamientos. El Sistema Génova sirve de respuesta a la acción de éstas fallas Longitudinales. La Falla Canchete E-O de control litológico entre las Dioritas y las Tonalitas-Granodioritas de la Superunidad Tiabaya que además lleva el control oriental de la Franja de Cu, es de suma importancia debido a su relación con la mineralización de Au de la zona. La Falla Santa Rosa delimita el área donde ocurre una mineralización conspicua con las vetas La Purísima, La Verde, Santa Rosa y Huarato Joven. La Falla Cuesta Colorada lleva el control litológico de la Formación Labra y Las Monzonitas Linga. Lineamientos NE-SO (transversales) que se encuentran distribuidos en toda el área de estudio también se han podido delimitar por lo que aparentemente el río Acarí y la quebrada Trancas se han desarrollado a lo largo de éstos.

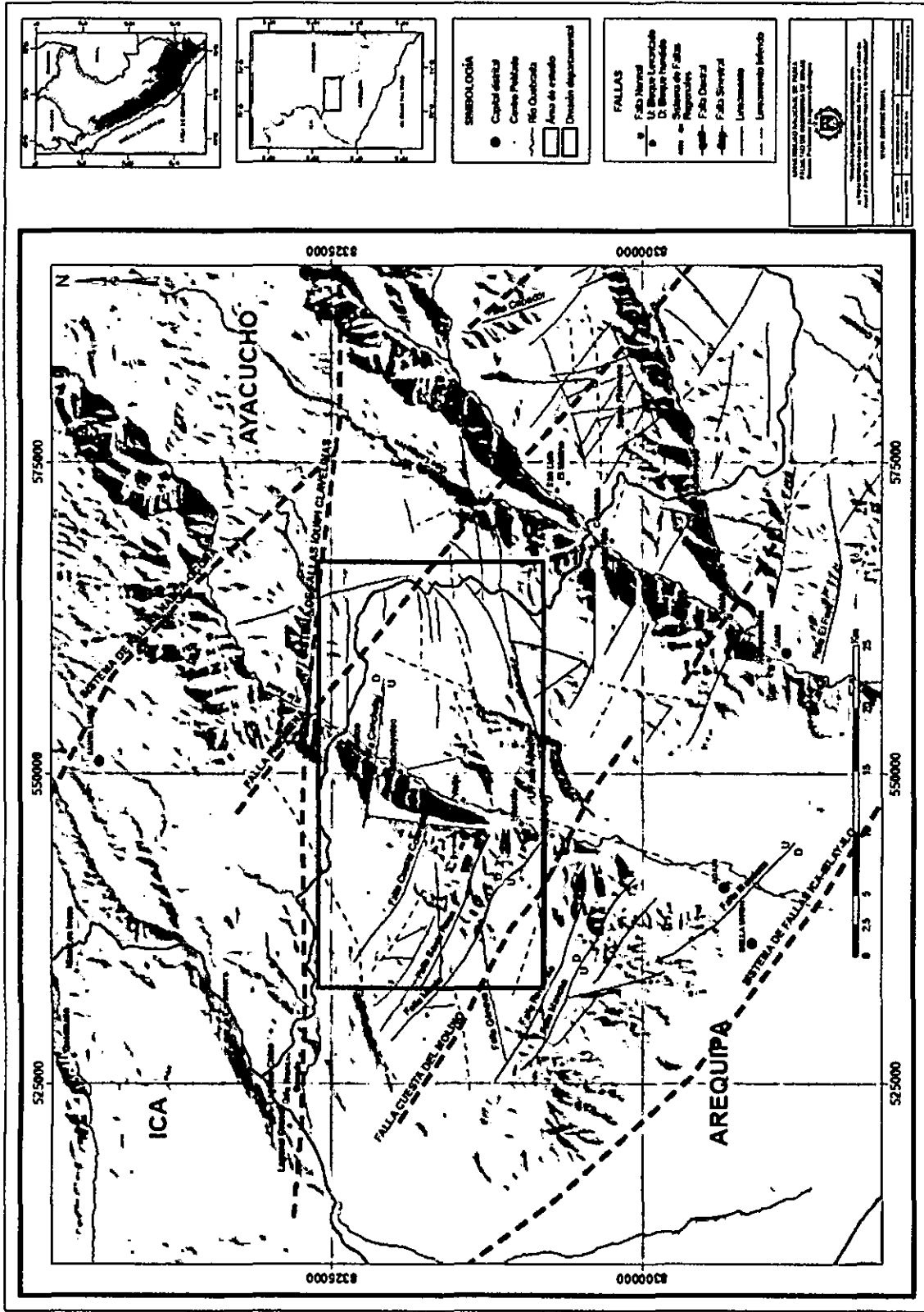
4.3. SISTEMA DE FALLAS REGIONALES

4.3.1. Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas (SFIC):

Representa un vector de gran importancia para localizar nuevos depósitos minerales, entre los más conocidos depósitos tipo pórfido de Cu-Mo-Au. Conformado por un Sistema de Fallas de dirección preferente E-O de carácter de cizalla que controlaron el emplazamiento de los depósitos tipo pórfido de cobre del Sur del Perú como Cerro Verde, Cuajone, Quellaveco, Toquepala (Mamani & Rivera, 2011). Asimismo este Sistema controla el emplazamiento de vetas mesotermales desde el límite oriental de la franja e depósito de Cu-Fe-Au (IOCG) del Jurásico medio a superior (sureste de la mina Acarí) hasta el oeste de la extensión sur del sistema de Fallas Cuzco, Lagunillas, Mañazo (oeste del prospecto Pinaya). El Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas está controlando en parte el emplazamiento de los intrusivos del

Cretácico superior que forman parte del Batolito de la Costa así como los diferentes prospectos que forman parte de la franja metalogenética de pórfidos de cobre de edad Cretácico superior (Rivera et al., 2008).

Recorre en gran amplitud las zonas de Cobrepampa, Canchete y el Norte de la Zona de Santa Luis, Santa Rita y Santa Filomena.



4.3.2. Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo:

Este sistema se encuentra en la Costa y pasa por los departamentos de Ica, Arequipa y Moquegua. Inicialmente se comportó como una falla transcurrente dextral y posteriormente como una normal. Esta falla controló el magmatismo durante el Jurásico-Cretácico inferior y se manifiesta como un *rift* o enjambres de diques (Injoque, 2002). Se encuentra delimitando el área de estudio y está relacionada con las Fallas Longitudinales (NO-SE).

4.3.3. Sistema de Fallas Nasca Ocoña:

Este Sistema de fallas está constituido principalmente por fallamiento longitudinal normal (NO-SE) comprendiendo una franja aurífera entre las provincias de Ica, Palpa, Nasca (Dpto. de Ica) y Caravelí, Camaná, Condesuyos, Arequipa e Islay (Dpto. de Arequipa) con una superficie aproximada de 59 616 Km² . Lleva el control estructural en la zona de Huanca (Acarí).

CAPÍTULO V

ESTUDIO PETROGRÁFICO Y MINERALÓGICO

Se han recolectado un total de 31 muestras que han sido escogidas para ser preparadas, estudiadas y analizadas teniendo en cuenta la litología observada según se ha ido trabajando en las zonas visitadas. Éstas forman parte del estudio petrográfico y minerográfico que han sido tomadas en diferentes ocurrencias y labores mineras reconocidas. Este estudio ha sido realizado utilizando un microscopio de Polarización de Luz transmitida y reflejada LEICA Modelo DM 2500P con cámaras video digital LEICA modelo DFC425.

Las muestras estudiadas fueron recolectadas en las rocas intrusivas de la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya en su mayor proporción y han sido agrupadas de tal manera para ver las diferencias entre sí y sus principales características. La clasificación y nomenclatura petrográfica se ha realizado utilizando los Diagramas de Strekeissen (1976).

La primera etapa consiste en la preparación de las muestras en el área de Petrotomía donde se hace un tratamiento físico en este caso de las muestras sólidas (rocas) con la finalidad de que sean adecuadas para los análisis petrográficos y minerográficos. Para el caso de las Secciones Delgadas se preparan con 30 micras de espesor a partir de una muestra natural (ígneas vélgase el caso) manteniendo sus características naturales. Las Secciones Pulidas se trabajan a partir de una muestra natural que puede ser una muestra mineralizada manteniendo sus características naturales para su posterior estudio. La segunda etapa consiste en el estudio Petrográfico y Minerográfico de las muestras recolectadas en campo.

Las etapas para la preparación de muestras en Sección Delgada (Galleta) para estudios Petrográficos son:

- Ingreso y codificación de la muestra

- Corte Inicial: haciendo el uso de la cortadora automática se corta un chip de 2x1cm x 1cm aproximado teniendo cuidado de tomar la muestra representativa.
- Impregnación: haciendo uso de la unidad de impregnación se procede a impregnar la muestra (CHIPS).
- Lapeado preliminar, intermedio, fino: Haciendouse de la pulidora semiautomática y el disco magnético adecuado (N°120, 400, 1000) se lleva a cabo el lapeado de la muestra con la finalidad de eliminar el deterioro y la deformación de la muestra hasta obtener un superficie plana exenta como sea posible de rayadura y porosidad y relieve.
- Pegado de la muestra al portaobjeto: Se calienta la muestra y el portaobjetos en la plancha o mufla a una temperatura de 140°C, se aplica un aglutinante en la superficie lapeada, se une ambas superficies montando la muestra sobre el portaobjetos, y se presiona eliminado las burbujas y el excedente del aglutinante.
- Segundo corte de la muestra: Haciendo uso del equipo de corte semiautomático y utilizando la sierra diamantada adecuada se corta la muestra a un espesor de 500micras aproximadamente
- Desbaste inicial: (100 micras de espesor aprox.).
- Desbaste intermedio: (50 micras de espesor aprox.).
- Desbaste fino: (30 micras de espesor).
- Control de calidad: El control de calidad de la preparación de una sección delgada, se hace a intervalos durante el desbaste final haciendo uso del microscopio de polarización de luz transmitida y tomando como patrón la coloración del cuarzo o las plagioclasas
- Montaje con cubreobjetos: Una vez obtenida el espesor de 30 micras se procede a montar la muestra al cubreobjetos.
- Limpieza, rotulado, codificación y Registro.

Las etapas para la preparación de muestras en Sección Pulida (Briqueta) para estudios Minerográficos son:

- Ingreso y codificación de la muestra.

- Corte inicial o encapsulado si es material suelto: Haciendo uso de la cortadora automática se corta la muestra sacando un chip de 2 x 1cm. x 1cm. aproximadamente, teniendo en cuidado de que sea su representación.
- Impregnación: Haciendo uso de la unidad de impregnación se procede a impregnar la muestra (CHIPS).
- Encapsulado: La muestra es encapsulada dentro de un molde redondo adecuado de 40 mm de diámetro.
- Lapeado preliminar, intermedio y final: Haciendo el uso de la pulidora semiautomática y el disco magnético adecuado (Nº120, 400, 1000 - 1200) se lleva a cabo el lapeado de la muestra con la finalidad de eliminar el deterioro y la deformación de la muestra hasta obtener una superficie plana exenta como sea posible de rayadura y porosidad y relieve.
- Pulido preliminar, intermedio y fino: Haciendo uso de la pulidora automática, paños, lubricantes y las suspensiones de diamante (6,3,1, 1/4 micrón)
- Control de calidad.
- Limpieza, rotulado, codificación y Registro.

5.1 ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA SUPERUNIDAD LINGA

Se han analizado 14 muestras de rocas intrusivas de esta Superunidad que varían entre Monzogranito, Monzonita con cuarzo y Monzodiorita, ocupando cerca del 35% del área de estudio. En campo se reconocieron litológicamente como rocas gris claras compactas, algo porfiríticas con venillas de cuarzo blanco débilmente silicificadas en algunos sectores. Ocupan los Sectores E del Cuadrángulo de Acarí y NO del Cuadrángulo de Jaquí en una franja NO.

5.1.1. MONZOGRANITOS

Se encuentran representadas por las muestras R-002, R-019, R-033 y R-034. Se describen macroscópicamente como rocas plutónicas cuyos colores varían de gris a rosa con tonalidad moderadamente anaranjada a verdosa. Presentan textura fanerítica de grano medio a fino. Asimismo, los minerales que lo constituyen son feldespatos potásicos, plagioclasas de formas prismáticas,

cuarzo hialino irregular, anfíboles. Presenta muy débil magnetismo. Presenta dureza y densidad media. Existen algunas muestras donde las plagioclasas y los anfíboles se encuentran alteradas a epidota(R-019).

Bajo el microscopio presentan textura granular hipidiomórfica, constituida principalmente por plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo intersticial. De la misma manera, presentan cristales de anfíboles, piroxenos, apatito y minerales opacos. Los minerales secundarios que presentan la roca son: arcillas, sericita, óxidos de hierro, epidota y clorita. Algunas muestras (R-019 y R-033) tienen presencia de esfena y zircón.

Descripción Mineralógica:

- Plagioclasas (P): Cristales de formas subhedrales prismáticos, en algunos casos anhedrales, maclados (macla polisintética, macla de Carlsbad), se encuentran zonadas y microfracturadas. Se encuentran alteradas a arcillas, sericita y epidota. Algunos presentan disseminaciones de minerales opacos. El tamaño de sus cristales varían entre 0.08 a 5.80 mm. Algunos casos como la muestra R-034 presenta textura de intercrecimiento vermicular con cuarzo.
- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas subhedrales a anhedrales maclados y presentan textura poiquilítica con inclusiones de biotita, plagioclasas y minerales opacos, en algunos casos presenta textura de intercrecimiento del tipo perítica (R-034). Un caso especial es la muestra R-002 que presenta cristales anhedrales de textura de intercrecimiento del tipo antirapakivi con plagioclasas. Se encuentran alterados a arcillas. El tamaño de sus cristales varían entre 0.15 a 4.48 mm.
- Cuarzo (Q): Se presenta en cristales de formas anhedrales y subhedrales, algunos se encuentran microfracturados rellenos por óxidos de hierro y entre los intersticios de los minerales. Presentan minerales opacos disseminados e inclusiones de apatito. La muestra R-

088 contiene inclusiones fluidas con tamaños menores a 0.015 mm. El tamaño de sus cristales varían entre 0.05 a 2.40 mm.

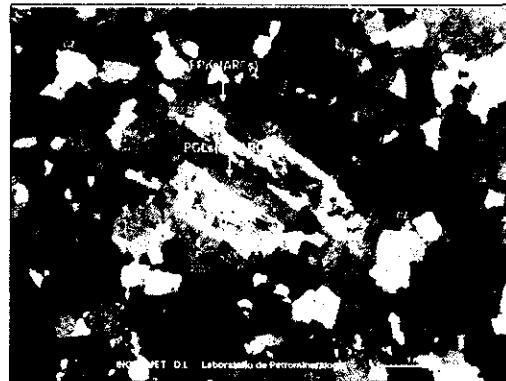
- Piroxenos: Se presentan en formas anhedrales encontrándose entre los intersticios de los cristales. Presentan alteración a cloritas, anfíboles, epidota y óxidos de hierro. Algunos se encuentran alterados por carbonatos. El tamaño de sus cristales varían entre 0.10 a 1.45 mm.
- Minerales opacos: Cristales de formas subhedrales y anhedrales, diseminados en la roca y como alteración de los piroxenos. Se encuentran alterados a óxidos de hierro y asociados a esfena. El tamaño de sus cristales varían entre 0.02 a 1.00 mm.
- Anfíboles: Cristales subhedrales prismáticos y anhedrales, maclados (macla de Carlsbad), algunos se encuentran alterados a biotita, cloritas y epidota, presentan minerales opacos diseminados. El tamaños de sus cristales varían entre 0.40 a 1.90 mm.
- Esfena: Cristales de formas euhedrales y subhedrales de formas rómbicas, se encuentran como cristales aislados y asociados a minerales opacos. El tamaño de sus cristales están entre los 0.05 mm.
- Zircón: Cristales de formas euhedrales y subhedrales prismáticos, se encuentran como inclusiones en feldespatos, biotita y anfíboles. El tamaño de sus cristales están entre los 0.02 a 0.25 mm.
- Apatito: Microcristales subhedrales de formas prismáticas alargadas, con bordes subredondeados, se presentan como inclusiones en las plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo. El tamaño de sus cristales son menores a los 0.29 mm.
- Biotita: Cristales anhedrales y subhedrales prismáticos, presentan minerales opacos diseminados. Se encuentran cristales de apatito y zircón como inclusiones. Se encuentra alterada a cloritas y epidota. El tamaño de sus cristales está entre 0.10 a 1.60 mm.
- Minerales Secundarios: Los minerales más importantes son la Biotita, óxidos de hierro, anfíboles, sericita, arcillas, cloritas y epidota.

Muestra : R-002
 Color : Rosa con tonalidad anaranjado
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	35		x		x		x	x				x	x	x			
Feldespatos K	25			x													
Cuarzo	22		x	x								x					
Piroxenos	3			x													
Opacos	3		x	x				x									
Esfena	Tr		x							x							
Zircón	Tr		x		x												x
Apatito	Tr				x												x
Secundarios	12										x						x

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



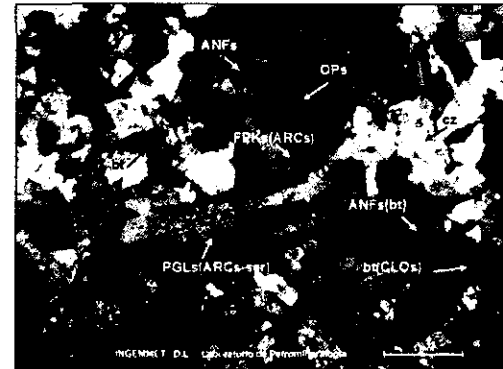
Cristales de plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGL (ser-ARCs), feldespatos potásicos alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfíboles alterados a biotita: ANFs (bt), biotita alterada a cloritas bt (CLOs) y minerales opacos diseminados: OPs.

Muestra : R-019
 Color : Gris con muy leve tonalidad rosácea
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	30		x	x	x			x			x	x	x				x
Feldespatos K	25			x								x					x
Cuarzo	20			x								x					x
Biotita	6		x		x						x						X
Anfíboles	5		x	x	x						x					x	
Opacos	3		x									x					
Esfena	Tr	x	x														
Apatito	Tr		x		x												x
Zircón	Tr	x			x												x
Secundarios	11																

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



Cristales de cuarzo: cz, plagioclasas alteradas a arcillas y sericita: PGLs (ARCs-ser), feldespatos potásicos alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfíboles alterados a biotita: ANFs (bt), biotita alterada a cloritas bt (CLOs) y minerales opacos diseminados: OPs.

Muestra : R-033
 Color : Gris a gris rosáceo con tonalidad verdosa
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Muestra : R-034
 Color : Gris rosáceo
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Mineralogía :

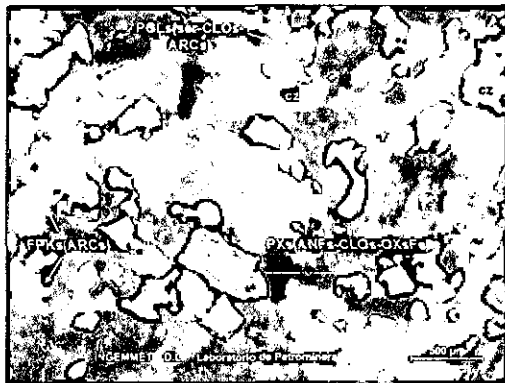
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	30		x	x	x							x	x				
Feldespatos K	33		x	x								x					
Cuarzo	18			x							x						
Piroxenos	3			x													
Opacos	3		x					x									
Esfena	Tr		x														
Apatito	Tr		x	x													x
Secundarios	13								x		x						

Mineralogía :

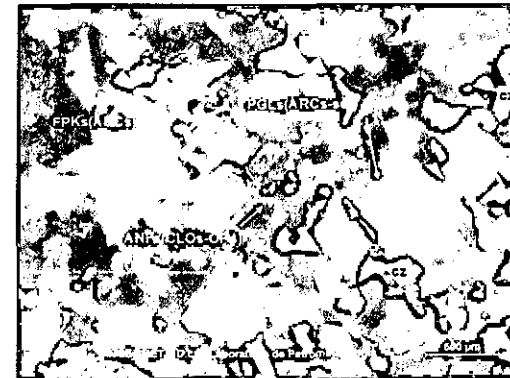
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Feldespatos K	40			x								x					
Plagioclasas	26		x	x	x						x	x	x				
Cuarzo	16			x							x						
Opacos	5		x	x				x									
Anfíboles	4		x	x													
Piroxenos	Tr			x													
Zircón	Tr		x		x												x
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	9		x						x								

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



Cristales de feldespatos potásicos alterados a arcillas: FPKs (ARCs), plagioclasas alteradas por sericita, cloritas y arcillas: PGLs (ser-CLOs-ARCs), cuarzo: cz, piroxenos alterados por anfíboles, cloritas y óxidos de hierro: PXs (ANFs-CLOs-ep-OXsFe).



Cristales de feldespatos potásicos alterados por arcillas: FPKs (ARCs), plagioclasas alteradas por arcillas y sericita: PGLs (ARCs-ser), cuarzo: cz, anfíboles que se encuentran alterados por cloritas y minerales opacos ANFs (CLOs-OPs).

5.1.2. MONZONITAS CON CUARZO

Se describen como rocas plutónicas compactas de color rosa anaranjado con tonalidad verdosa. Presentan textura fanerítica de grano medio. Los minerales que lo constituyen son las plagioclasas incoloras prismáticas y en algunos casos tabulares, feldespatos potásicos alterados y cuarzo hialino irregular. Dentro de los minerales máficos se tiene piroxenos y anfíboles en proporciones considerables, alterados por óxidos. Presentan dureza media y densidad alta, además de un ligero magnetismo. Se encuentran representadas por las muestras R-003, R-017, R-020, R-021, R-024, R-027, R-028 y R-030. Microscópicamente presentan textura granular hipidiomórfica, constituidos por plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo. Asimismo presenta anfíboles, piroxenos, esfena, apatito, zircón. Los minerales de alteración presentes son las arcillas, sericita, clorita, epidota y óxidos de hierro. Presenta minerales opacos diseminados y alterados a óxidos de hierro.

Descripción Mineralógica:

- **Plagioclasas (P):** Cristales de formas subhedrales prismáticos, anhedrales, euhedrales, maclados, zonados y algunos microfracturados. Se encuentran además alterados a sericita, arcillas, cloritas, óxidos de hierro y epidota. Algunas presentan inclusiones de apatito y zircón. Asimismo contienen minerales opacos diseminados y anfíboles como inclusión. El tamaño de los cristales varía entre 0.15 a 6.95 mm. Existen casos en los que los cristales se encuentran alterados por los carbonatos como en la muestra R-030 por lo que se tratarían de plagioclasas cálcicas.
- **Feldespatos potásicos(A):** Cristales de formas euhedrales, subhedrales y anhedrales (en mayor proporción), ocurren entre los intersticios de los cristales y en algunos casos se encuentran maclados. Se encuentran alterados a arcillas, cloritas, y en menor cantidad a sericita y óxidos de hierro. Presentan textura de intercrecimiento peritítico y textura poiquilítica conteniendo cristales de plagioclasas y anfíboles. El tamaño de sus cristales varía entre 0.07 a 6.00 mm. Posee inclusiones

de apatito, moldes de ferromagnesianos y minerales opacos diseminados. En el caso de la muestra R-027 esta presenta textura de intercrecimiento con cuarzo de tipo gráfico.

- Cuarzo (Q): Cristales de formas anhedrales y en algunos casos subhedrales, se encuentran entre los intersticios de los cristales de la roca. El tamaño de sus cristales varía entre 0.05 a 3.60 mm. Algunos cristales presentan extinción ondulante, asimismo se encuentran microfracturados con inclusiones de apatito. Existen algunas muestras que presentan textura de intercrecimiento tipo gráfica con el feldespato potásico como es el caso de la muestra R-024.
- Anfíboles: Se presentan de formas subhedrales prismáticos y anhedrales, maclados, algunos microfracturados. Asimismo, se encuentran alterados a minerales como clorita, epidota, carbonatos, óxidos de hierro y minerales opacos. Asociados a esfena. Sus tamaños varían entre 0.10 a 3.80 mm. Algunos presentan inclusiones de apatito y zircón.
- Esfena: Cristales de formas subhedrales rómbicas y anhedrales, algunos microfracturados. Se encuentran asociados con los anfíboles, minerales opacos, ferromagnesianos, cuarzo y feldespatos potásicos. Se encuentran reemplazados por los minerales opacos a través de sus microfracturas y bordes. El tamaño de sus cristales varían entre 0.07 a 1.50 mm.
- Minerales opacos: Cristales de formas subhedrales y anhedrales. Ocurren diseminados en la roca y como alteración de los minerales ferromagnesianos. Algunos cristales se encuentran alterados a óxidos de hierro. El tamaño de sus cristales varía entre 0.02 a 1.15 mm. En algunas muestras se presenta esfena alrededor de los minerales opacos (R-017).
- Piroxenos: Se presentan en formas subhedrales prismáticos y anhedrales en algunos casos, se encuentran alterados a anfíboles, cloritas y minerales opacos. El tamaño de sus cristales oscila entre 0.10

a 2.40 mm. la muestra R-28 presenta impregnación de óxidos de fierro, producto de la alteración de los minerales opacos.

- **Apatito:** Cristales de formas subhedrales prismáticas alargadas, con bordes subredondeados, algunos muestran corte basal hexagonal, se presentan como inclusiones en las plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita y feldespatos potásicos. Sus tamaños varían entre 0.01 a 0.40 mm.
- **Zircón:** Cristales de forma euedral y subhedrales prismáticos, presente como inclusión en plagioclasas, feldespatos potásicos y biotita. El tamaño promedio de sus cristales es de 0.06 mm.
- **Biotita:** Cristales de formas subhedrales prismáticos y anhedrales. Se encuentra alterada por cloritas, minerales opacos y óxidos de fierro. El tamaño de sus cristales varía entre 0.30 a 2.60 mm. En algunos casos se presenta inclusiones de zircón.
- **Rutilo:** Cristales de formas anhedrales. Se encuentra asociado con anfíboles y microfracturado. El tamaño de sus cristales es menor a 1.15 mm.
- **Minerales secundarios:** La mayor parte de estos ocurren como agregados y productos de la alteración de los anfíboles y plagioclasas. Estos son: Arcillas, sericita, cloritas, epídota, óxidos de fierro, cuarzo y biotita. En la muestra R-030 encontramos carbonatos a modo de relleno de microfracturas.

Muestra : R-003
 Color : Rosa anaranjado con tonalidad verdosa
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Muestra : R-017
 Color : Rosada
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Mineralogía :

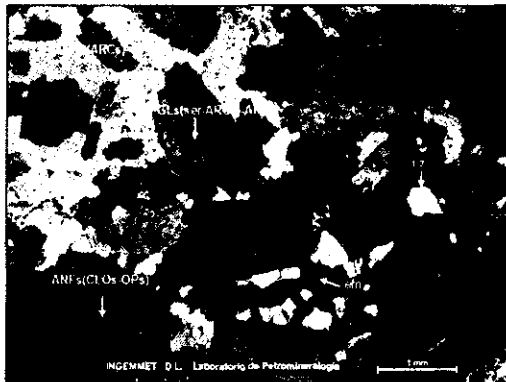
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	39		x		x			x			x	x	x				x
Feldespatos K	30			x													
Cuarzo	5			x													
Anfiboles	10		x		x						x	x					
Esfena	2		x								x						
Opacos	3		x	x				x									
Piroxenos	1		x														
Apatito	Tr				x												x
Zircón	Tr	x			x												x
Secundarios	10															x	

Mineralogía :

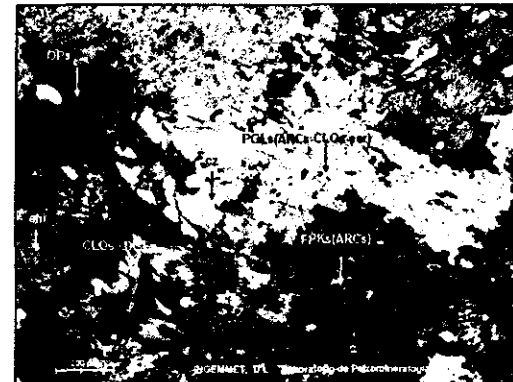
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales						
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl	
Plagioclasas	37		x	x	x						x						x	
Feldespatos K	28			x													X	
Cuarzo	4			x														
Esfena	5		x	x														
Opacos	4		x	x										x				
Apatito	Tr																	x
Secundarios	22		x	x											x			

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg ++ Sil +Clor + Oxid +



Cristales de feldespatos potásicos alterados a arcillas: FPKs (ARCs), plagioclasas alteradas a sericita y arcillas con inclusiones de anfíboles: PGLs (ser-ARCs)-ANFs, cuarzo: cz, anfíboles alterados a cloritas y minerales opacos: ANFs (CLOs-OPs), esfena: efn.



Cristales de plagioclasas alteradas a arcillas, cloritas y sericita: PGLs (ARCs-CLOs-ser) feldespatos potásicos alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, cloritas con impregnaciones de óxidos de hierro: CLOs-OXsFe. esfena: efn y minerales opacos diseminados: OPs.

Muestra : R-020
 Color : Anaranjado con moderada tonalidad rojiza
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Muestra : R-021
 Color : Gris oscuro con tonalidad rosácea
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Mineralogía :

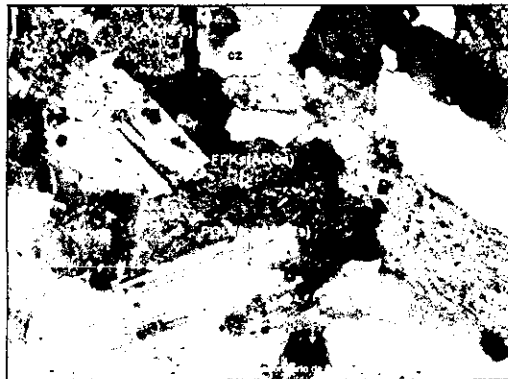
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Feldespatos K	30.5			x													x
Plagioclasas	30		x		x						x	x	x				
Cuarzo	10			x													
Anfíboles	8		x	x	x						x						
Opacos	6		x	x							x						
Piroxenos	3		x		x												
Esfena	0.5		x	x													
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	12			x													

Mineralogía :

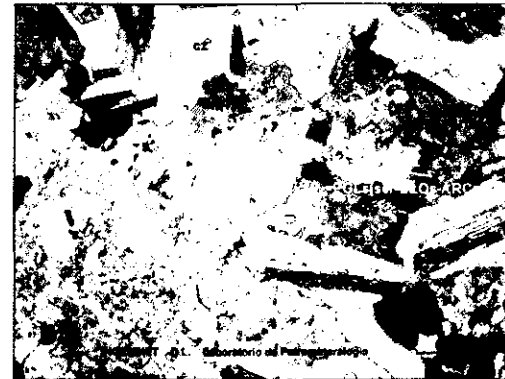
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales						
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl	
Plagioclasas	37	x	x		x											x	x	x
Feldespatos K	25			x											x	x		
Cuarzo	10			x											x			
Anfíboles	8		x	x	x													
Biotita	6		x	x	x													
Opacos	3		x	x										x				
Zircón	Tr		x		x													x
Esfena	Tr		x		x													
Apatito	Tr		x		x													x
Secundarios	11														x			

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg +Clor + Epid +



Plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGLs (ser-ARCs) feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, anfíboles alterados a cloritas y con diseminación de opacos: ANFs (CLOs) OPs. Piroxenos alterados a anfíboles: PXs (ARCs) y opacos : OPs. Microfracturas rellenas por sericita: ser-CLOs.



Cristales de plagioclasas alteradas a sericita, cloritas y arcillas además de opacos: PGLs (ser-CLOs-ARCs)-OPs, feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, biotita alterada por cloritas y en conjunto con anfíboles: bt (CLOs)-ANFs.

Muestra : R-024
 Color : Rosado con tonalidad anaranjada
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Muestra : R-027
 Color : Rosa con tonalidad anaranjada
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	40		x		x							x	x				
Feldespatos K	24			x								x					
Cuarzo	10			x								x					
Anfíboles	10		x	x	x												
Opacos	5		x	x						x							
Esfena	1		x														
Rutilo	1			x							x						
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	9		x													x	

Mineralogía :

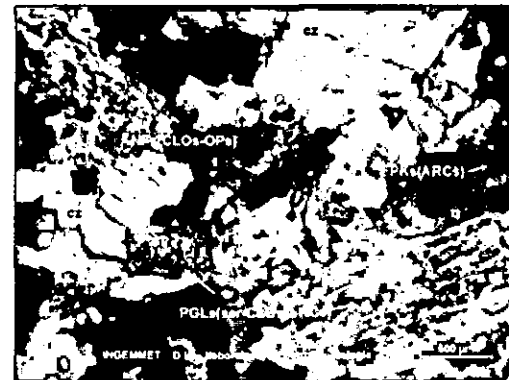
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	39		x		x							x	x				
Feldespatos K	25			x								x					
Cuarzo	12			x													x
Anfíboles	6		x	x													
Piroxenos	Tr			x													
Opacos	4		x	x						x							
Apatito	Tr	x	x		x												x
Esfena	Tr		x														
Secundarios	14															x	

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid + Oxid +



Cristales de plagioclasas alteradas a sericita, cloritas, arcillas y epidota: PGLs (ser-CLOs-ARCs-ep), feldespatos K alterados por arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, anfíboles alterados por cloritas y minerales opacos: ANFs (CLOs-OPs).



Cristales de plagioclasas alteradas a sericita, cloritas y arcillas: PGLs (ser-CLOs-ARCs), feldespatos K alterados por arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, anfíboles alterados por cloritas y minerales opacos: ANFs (CLOs-OPs).

Muestra : R-028
 Color : Rosado grisáceo con tonalidad anaranjada
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Muestra : R-030
 Color : Verde grisáceo con tonalidad amarillenta
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzonita con cuarzo

Mineralogía :

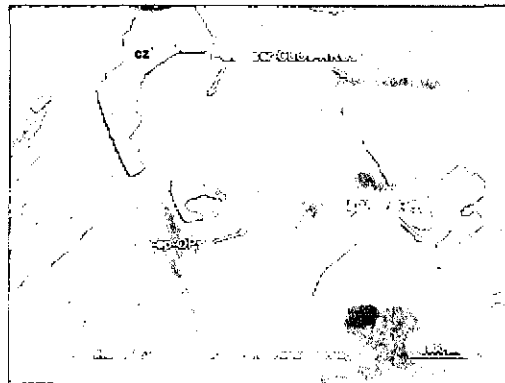
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Feldespatos K	32			x							x						
Plagioclasas	28	x	x		x			x			x	x					
Cuarzo	9			x							x						x
Piroxenos	10		x	x	x												
Opacos	5		x					x									
Rutilo	Tr			x													
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	16															x	

Mineralogía :

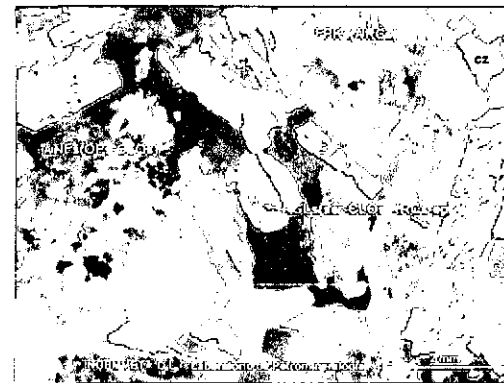
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales						
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl	
Plagioclasas	33		x		x												x	x
Feldespatos K	25			x														
Cuarzo	8			x														
Anfíboles	10		x	x														
Opacos	4		x	x														
Apatito	Tr		x		x													
Esfena	1		x	x														
Zircón	Tr		x		x													x
Secundarios	19																x	

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid + Oxid +



Cristales de plagioclasas alteradas a sericita, cloritas y arcillas: PGLs (ser-CLOs-ARCs), feldespatos K alterados por arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, piroxenos alterados por anfíboles, minerales opacos y epidota: PXs (ANFs-OPs-ep).



Cristales de plagioclasas alteradas por sericita, cloritas, arcillas y epidota: PGLs (ser-CLOs-ARCs-ep), feldespatos K alterados por arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, anfíboles alterados por minerales opacos y cloritas: ANFs (OPs-CLOs).

5.1.3. MONZODIORITAS

Están representadas por las muestras R-001 Y R-004. Macroscópicamente varían entre color blanco a gris rosáceo. Presentan textura fanerítica de grano medio. Los minerales constituyentes de estas rocas son las plagioclasas tabulares, feldespatos potásicos, cuarzo hialino en menor proporción, dentro de los máficos se observan anfíboles, biotitas y epídotas. Se encuentran moderadamente oxidadas con ligero magnetismo y son de dureza y densidad media.

Bajo el microscopio estas rocas presentan textura granular hipidiomórfica, constituido principalmente por plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo. Asimismo, anfíboles, piroxenos, esfena y apatito. Los minerales secundarios que presenta la roca son: arcillas, cuarzo, sericita, óxidos de fierro, epídota y clorita. Los minerales opacos están alterados a óxidos de fierro.

Descripción mineralógica:

- Cuarzo (Q): Se presenta en cristales de formas anhedrales generalmente menores a 0.20 mm, algunos, microfracturados, se encuentran como relleno entre los espacios intergranulares de la roca.
- Plagioclasa (P): Cristales de formas subhedrales prismáticos (macla polisintética y macla combinada de Carlsbad), algunos presentan microfracturas rellenas por óxidos de fierro. Se encuentran alterados a sericita, arcillas, epídota y cloritas. Estas rocas presentan inclusiones de apatito y diseminación de minerales opacos. Su tamaño varía entre 0.50 a 8.70 mm.
- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas subhedrales y anhedrales maclados cuyos tamaños varían entre 0.20 a 1.60 mm. Se encuentran alterados a arcillas y sericita. Algunos cristales presentan textura de intercrecimiento perfitico. Presentan diseminación de minerales opacos e inclusión de apatito. Asimismo se observa variedad de microclina.

- **Anfiboles:** Cristales de formas subhedralas, prismáticos y anhedralas. Algunos presentan microfracturas. Se encuentran alterados a clorita, biotita, y minerales opacos a través de sus microfracturas. Además presentan minerales opacos. El tamaño de estos cristales varían entre 0.01 a 4.10 mm.
- **Piroxenos:** Cristales subhedralas, prismáticos, en algunos casos, se encuentran maclados (Macla de Carlsbad) y sus tamaños varían entre 0.60 a 2.24 mm. Se encuentran alterados a anfíboles, cloritas, minerales opacos y epidota. Presentan diseminación de minerales opacos.
- **Minerales opacos:** Cristales de formas subhedralas, alterados a óxidos de fierro. Se presentan diseminados en toda la roca. Asimismo, se presentan como alteración de minerales ferromagnesianos. Sus tamaños varían entre 0.10 a 1.40 mm. Estos minerales opacos se encuentran como relleno de microfracturas, asociados con esfena. También como relleno de venillas junto a óxidos de fierro.
- **Moldes de ferromagnesianos:** Cristales de formas subhedralas generalmente menores a 1.00 mm y se encuentran reemplazados por cloritas, minerales opacos y biotitas. Asimismo, presentan impregnación por óxidos producto de la alteración de los minerales opacos.
- **Esfena:** Cristales subhedralas a euhedralas. Se presentan en los bordes de los cristales de plagioclasas y asociados a los minerales ferromagnesianos. El tamaño de sus cristales varían entre 0.36 a 1.60 mm.
- **Apatito:** Cristales de formas subhedralas prismáticas alargadas con bordes subredondeados, algunos muestran corte basal hexagonal. Se presentan como inclusiones en las plagioclasas y feldespatos potásicos. El tamaño de sus cristales son menores a 0.10 mm.
- **Minerales Secundarios:** Entre los minerales secundarios más importantes tenemos a la arcilla, biotita, clorita, sericita, epidota y los óxidos de fierro.

Muestra : R-001
 Color : Gris rosáceo
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Muestra : R-004
 Color : Blanco con tonalidad rosácea
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	45		x		x			x			x	x					x
Feldespatos K	15			x				x									x
Cuarzo	3			x						x							
Anfíboles	8		x	x	x			x		x							
Piroxenos	6		x		x						x						
Opacos	7		x					x									
Ferromagnes			x					x									
Esfena	Tr		x														
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	15																

Mineralogía :

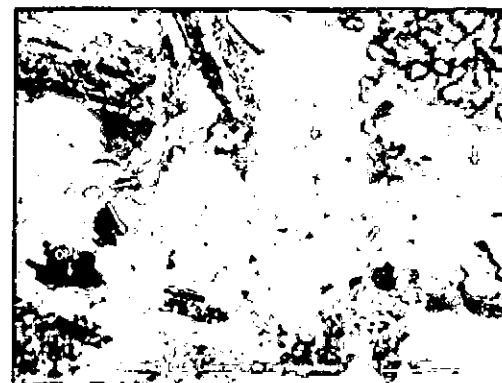
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	61		x		x						x	x					x
Feldespatos K	12		x	x								x					x
Cuarzo	3		x	x													
Opacos	5							x				x					
Esfena	3		x	x													
Apatito	Tr									x							x
Secundarios	16		x	x													

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Sil + Clor + Oxid +



Cristales de plagioclasas alteradas a arcillas: PGLs (ARCs), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, piroxenos alterados a anfíboles, cloritas y minerales opacos: PXs (ANFs-CLOs-OPs) y anfíboles alterados a minerales opacos: ANFs (OPs).



Cristales de plagioclasas alteradas a arcillas, epídotas y opacos: PGLs (ARCs-ep)-OPs, feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, esfena: efn y presencia de minerales opacos: OPs.

5.2 ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA SUPERUNIDAD TIABAYA

Se han analizado 17 muestras de esta Superunidad que varían desde Monzogranito, Granodiorita-Tonalita, Cuarzo Monzodiorita y Diorita, ocupando cerca del 50% del área de estudio. En campo se reconocieron litológicamente como rocas intrusivas cuyos colores varían entre el gris claro a oscuro, de textura holocristalina y en algunos casos porfirítica, existen sectores donde las encontramos bastante compactas como en otros muy alteradas y fracturadas. Presentan venilleo de cuarzo blanco hialino, y están compuestas generalmente por Plagioclasas, cuarzo y en menor cantidad feldespatos potásicos.

5.2.1. MONZOGRANITOS

Están representadas por las muestras R-042, R-051 y R-052. Macroscópicamente son rocas compactas de color gris medianamente oscuro con textura fanerítica. Se encuentra compuesta por cristales de plagioclasas, feldespatos potásicos y cuarzo intersticial; anfíboles tabulares entre los minerales ferromagnesianos. Asimismo presenta densidad media y moderado magnetismo. Algunas se encuentran cortadas por venillas rectas que presentan halo de alteración.

Observadas al microscopio se puede reconocer textura granular hipidiomórfica caracterizada por la presencia de cristales de feldespatos potásicos, plagioclasas y cuarzo; asimismo, presenta anfíboles y biotita con minerales opacos diseminados. Los minerales de alteración lo constituyen las cloritas, arcillas, sericita, epidota y óxidos de fierro. También presentan microfracturas.

Descripción Mineralógica:

- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas anhedrales, algunos se presentan maclados con textura perítica. Están alterados por arcillas. Algunos presentan microfracturas. El tamaño de sus cristales varía entre 0.40 a 4.00 mm.
- Plagioclasas (P): Cristales de formas subhedrales y anhedrales, prismáticos, maclados, microfracturados y en algunos casos zonados. Están alterados por arcillas, sericita, epidota y cloritas. Sus tamaños

varían entre 0.40 a 3.20 mm. la muestra R-052 presenta textura simplectítica en los bordes con feldespatos potásicos.

- Cuarzo (Q): Cristales de formas anhedrales con extinción ondulante. Se ubican en los intersticios de los cristales y contiene inclusiones fluidas. Algunos se encuentran microfracturados. El tamaño de sus cristales varía entre 0.40 a 2.40 mm.
- Anfíboles: Cristales de formas subhedrales, prismáticos, algunos maclados y forma textura poiquilítica dada por inclusiones de plagioclasas. Se encuentran alterados por biotitas, cloritas, minerales opacos y epidota. Algunos cristales se encuentran microfracturados. El tamaño de sus cristales son menores 4.80 mm. En ocasiones presenta impregnaciones de óxidos de hierro en bordes (R-051).
- Minerales opacos: Cristales de formas euhedrales y subhedrales, también se presentan en formas anhedrales como alteración de anfíboles y biotitas. Algunos cristales se encuentran alterados por óxidos de hierro. El tamaño de sus cristales son menores a 1.08 mm.
- Biotita: Cristales de formas subhedrales prismáticos y anhedrales. Se encuentran alterados por cloritas, epidota, minerales opacos y óxidos de hierro. El tamaño de sus cristales son menores a 1.40 mm. Algunos se encuentran asociados a esfena (R-052).
- Esfena: Cristales de formas subhedrales y anhedrales, se encuentran asociados con anfíboles y minerales opacos. El tamaño de sus cristales son menores a 1.08 mm.
- Apatito: Cristales de formas subhedrales, prismáticos, se encuentran como inclusión en anfíboles y feldespatos. El tamaño de sus cristales es menor a 0.20 mm.
- Minerales secundarios: Se presentan como agregados y como producto de alteración. Estos son: Cloritas, arcillas, sericita, epidota, óxidos de hierro, biotita, anfíboles y cuarzo.

Muestra : R-042
 Color : Gris medianamente oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Muestra : R-051
 Color : Gris medianamente oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Mineralogía :

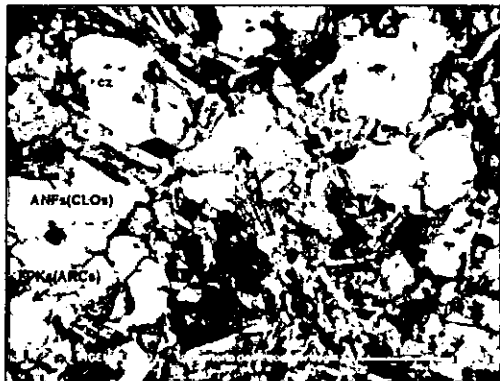
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Feldespatos K	33			x							x	x					
Plagioclasas	25		x		x							x	x				
Cuarzo	20			x							x						x
Anfíboles	10		x		x						x	x					x
Opacos	3	x	x	x						x							
Biotita	2		x	x													
Esfena	Tr			x													
Secundarios	7										x	x					

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	34		x	x	x							x	x				
Feldespatos K	20			x													
Cuarzo	15			x													x
Anfíboles	4		x		x												
Biotita	3		x		x												
Opacos	3		x	x											x		
Esfena	Tr		x														
Secundarios	21																x

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Sil + Clor + Oxid + Epid +



Cristales de plagioclasas alteradas a sericita, arcillas y cloritas: PGLs (ser-ARCs-CLOs), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, biotita alterada por epidota y cloritas: bt (ep-CLOs) anfíboles alterados por cloritas: ANFs (CLOs).



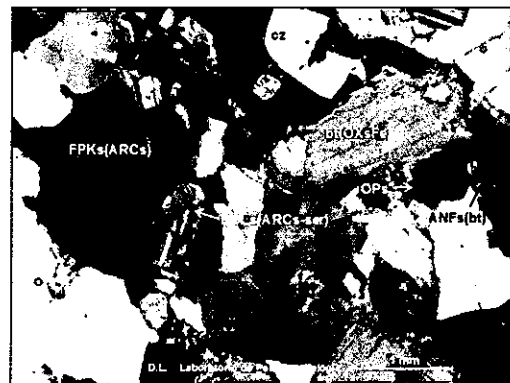
Cristales de plagioclasas alteradas a sericita y cloritas: PGLs (ser-CLOs), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, biotita alterada a cloritas y minerales opacos: bt (CLOs-OPs), anfíboles alterados por cloritas y opacos: ANFs (CLOs-OPs).

Muestra : R-052
 Color : Blanco grisáceo con tonalidad rosácea
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzogranito

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	33		x		x						x	x	x				
Feldespatos K	28			x													
Cuarzo	19			x						x							
Biotita	7		x	x	x							x					
Anfíboles	5		x		x												x
Opacos	4		x	x				x									
Esfena	1		x														
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	3									x							

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



Cristales de plagioclasas alteradas por arcillas y sericita: PGLs (ARCs-ser), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, biotita alterada a óxidos de hierro: bt (OXsFe) anfíboles alterados a biotita: ANFs (bt) y opacos diseminados: OPs.

5.2.2. TONALITAS-GRANODIORITAS

GRANODIORITAS

Son rocas plutónicas de color gris muy claro, presentan textura fanerítica de grano medio. Los minerales constituyentes son las plagioclasas subhedrales tabulares, cuarzo hialino y feldespatos potásicos, anfíboles alterados a biotita. Presenta leve magnetismo. Asimismo, dureza y densidad media. Están representados por las muestras R-008, R-022, R-046 y R-073. Algunos casos donde presenta impregnaciones de óxidos de hierro sobre los cristales de plagioclasas (R-073).

Microscópicamente presentan textura granular hipidiomórfica, compuesta por cristales de plagioclasas subhedrales, cuarzo y en menor proporción feldespatos potásicos; asimismo, se presentan cristales de anfíboles, biotita, esfena, apatito y minerales opacos. Los minerales producto de alteración son cloritas, arcillas, sericita, biotita, óxidos de hierro y epídota. Algunas se encuentran microfracturadas.

Descripción Mineralógica:

- Plagioclasas (P): Cristales subhedrales prismáticos y anhedrales, maclados (macla polisintética) y zonados. Se encuentran alteradas a sericita, arcillas, epídota y cloritas. Presentan inclusiones de apatito. El tamaño de sus cristales varía entre 0.16 a 5.72 mm. Algunas presentan microfracturas (R-022) y textura poiquilítica con inclusiones de apatito (< 0.095 mm).
- Cuarzo (Q): Cristales de formas anhedrales, se encuentran relleno intersticios entre las plagioclasas. Algunos se encuentran microfracturados. Presentan extinción ondulante y el tamaño de sus cristales varían entre 0.12 a 3.36 mm. Algunos presentan inclusiones de apatito (R-022).
- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas anhedrales, de textura de intercrecimiento peritítico. Principalmente se presentan de forma intersticial englobando cristales de plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita y apatito. Se encuentran alterados a arcillas. El tamaño de sus

cristales varía entre 0.05 a 4.00 mm. Algunos se encuentran microfracturados. Algunos cristales presentan textura simplectítica (R-073).

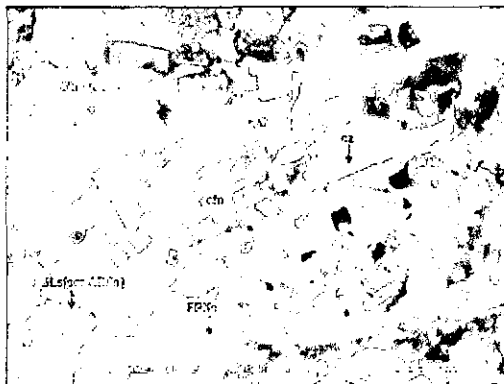
- **Anfiboles:** Cristales de formas subhedrales y anhedrales maclados (macla polisintética y Carlsbad) y alterados a cloritas, biotita y epidota con minerales opacos diseminados. Presentan inclusiones de plagioclasas mostrando una textura poiquilítica. También presentan inclusiones de apatito, se encuentran asociados a esfena. El tamaño de sus cristales varía entre 0.20 a 11.00 mm. Algunos se encuentran microfracturados y con inclusiones de zircón.
- **Biotita:** Cristales de formas subhedrales prismáticos y anhedrales, alteradas a cloritas, epidota y óxidos de fierro. Asimismo, presentan minerales opacos diseminados. El tamaño de sus cristales varía entre 0.20 a 2.30 mm.
- **Minerales opacos:** Se presentan de formas subhedrales y anhedrales. Se encuentran diseminados en la roca y como alteración de los ferromagnesianos. Algunos, presentan alteración a óxidos de fierro. El tamaño de sus cristales varía entre 0.02 a 1.40 mm.
- **Esfena:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales, se encuentran asociados a anfíboles y minerales opacos. Sus cristales varían de tamaño entre los 0.10 a 0.92 mm.
- **Zircón:** Cristales de formas subhedrales, se encuentran como inclusión de biotita. El tamaño de sus cristales están entre los 0.20 mm.
- **Apatito:** Cristales subhedrales prismáticos de bordes redondeados, presentes como inclusiones de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, biotita y anfíboles. El tamaño de sus cristales varía entre 0.01 a 0.20 mm.
- **Minerales secundarios:** Se presentan como agregados y productos de alteración. Los más importantes son: Cloritas, arcillas, sericita, biotita, óxidos de fierro y epidota. Algunos casos presentan carbonatos como relleno de microfracturas (R-022).

Muestra : R-008
 Color : Gris muy claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Granodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales						
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl	
Plagioclasas	42		x	x	x							x	x				x	
Cuarzo	25											x						
Feldespatos K	10			x														
Anfíboles	9		x									x					x	
Biotita	5		x	x	x			x										
Opacos	4		x	x				x										
Esfena	Tr		x	x														
Zircón	Tr		x														x	
Apatito	Tr		x														x	
Secundarios	5																	

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



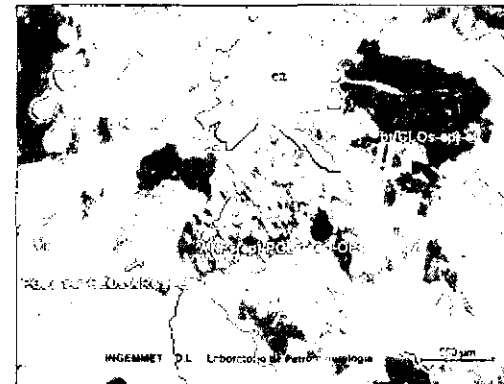
Cristales de plagioclasas alteradas por sericita y arcillas: PGLs (ser-ARCs), anfíboles alterados a opacos: ANFs (OPs), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz, biotita alterada a cloritas: bt (CLOs).

Muestra : R-022
 Color : Blanco con tonalidad rosácea
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Granodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales								
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl			
Plagioclasas	40		x		x												x	x	x	
Cuarzo	25				x												x			x
Feldespatos K	10				x													x		
Biotita	5		x		x															
Anfíboles	4		x	x														x		
Opacos	3		x					x												
Esfena	2		x																	
Apatito	Tr		x		x															x
Secundarios	11		x	x											x		x			

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Sil + Clor + Oxid +Epid +Carb +



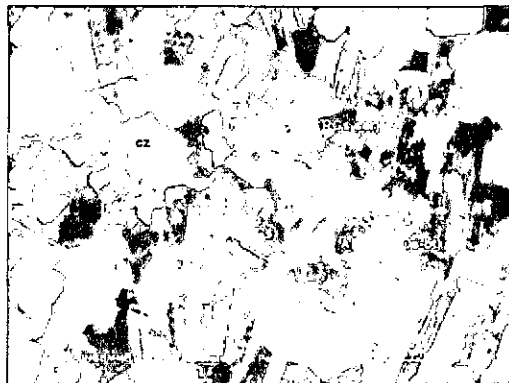
Plagioclasas alteradas por sericita, cloritas y arcillas con opacos: PGLs (ser-CLOs-ARCs)-OPs, anfíboles alterados a epidota con plagioc alteradas por ser y opacos:ANFs(ep)-PGLs(ser)-OPs,cuarzo: cz, biotita alterada a cloritas y epidota con esfena: bt (CLOs-ep)-ef.

Muestra : R-046
 Color : Gris claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Granodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	43		x		x						x	x	x				x
Cuarzo	32			x							x						
Feldespatos K	12			x							x						
Biotita	3		x	x	x												
Anfiboles	2			x													
Opacos	2		x	x				x									
Esfena	Tr	x		x													
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	6			x					x								

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



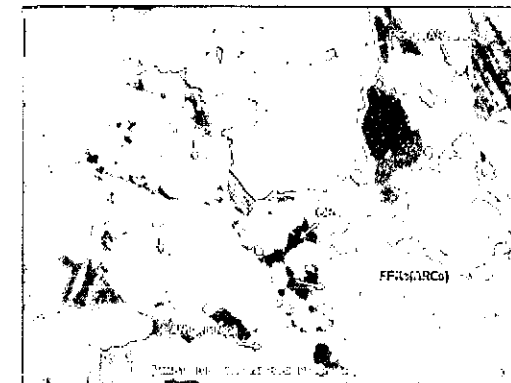
Cristales de plagioclasas alteradas a cloritas, arcillas y sericita: PGLs (CLOs-ARCs-ser), anfíboles alterados a cloritas y biotita: ANFs (CLOs-bt), feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz.

Muestra : R-073
 Color : Gris muy claro con tonalidad verdosa
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Granodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	43		x		x			x			x	x	x				x
Cuarzo	25			x							x						x
Feldespatos K	12			x							x						
Anfiboles	5		x	x	x			x			x	x					
Opacos	4		x	x				x									
Biotita	3		x		x												
Esfena	Tr	x		x													
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	8											x					

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



Plagioclasas alteradas a arcillas y sericita: PGLs (ARCs-ser), anfíboles alterados a biotita y epidota: ANFs (bt-ep), biotita con alteración a cloritas: bt (CLOs) con opacos diseminados: OPs, feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), cuarzo: cz.

TONALITAS

Se encuentran representadas por las muestras R-053 y R-054. Macroscópicamente se observan rocas compactas de color blanco con ligero tono grisáceo. Presentan textura fanerítica de grano medio constituida por plagioclasas prismática que presentan ligera alteración, cuarzo hialino, en menor proporción (casi 3%) feldespatos potásicos, anfíboles y biotita presentando alteración. Dureza y densidad media con leve magnetismo.

Al microscopio se describe como rocas ígneas intrusivas de textura granular hipidiomórfica constituida por minerales de plagioclasas, cuarzo. Asimismo, presenta minerales como biotita, anfíboles, minerales opacos, esfena y apatito. La roca presenta alteración a arcillas, sericita, cloritas, epídota, biotita y óxidos de hierro.

Descripción Mineralógica:

- **Plagioclasas (P):** Cristales subhedrales prismáticos, zonados, maclados (macla polisintética) y algunos microfracturados. Se encuentran alteradas a sericita, arcillas, cloritas, epídota y carbonatos. El tamaño de sus cristales varía entre 0.60 a 2.88 mm.
- **Cuarzo (Q):** Cristales anhedrales con extinción ondulante. Presenta inclusiones de apatito y diseminación de minerales opacos. El tamaño de sus cristales varía entre 0.05 a 3.00 mm. En algunos casos puede presentar microfracturas rellenas de carbonatos y óxidos de hierro (R-053).
- **Feldespatos potásicos:** Solo presente en la muestra R-054 y son cristales de formas anhedrales. Se encuentran en los intersticios con alteración a arcillas. Algunos presentan intercrecimiento simplectítico con las plagioclasas. El tamaño de sus cristales está entre 1.50 mm.
- **Biotita:** Cristales de formas subhedrales prismáticos. Se encuentran alteradas a cloritas, epídota y óxidos de hierro, presenta inclusiones de apatito y diseminación de minerales opacos. El tamaño de sus cristales varía entre 0.30 a 2.20 mm.

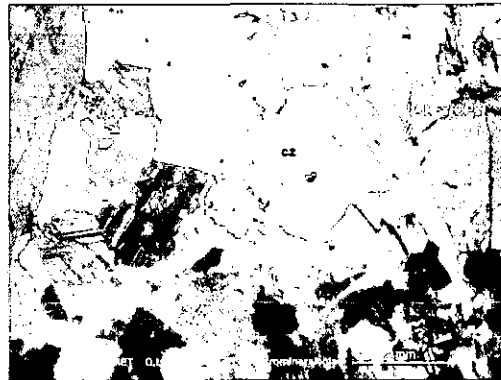
- **Minerales opacos:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales alterados a óxidos de fierro. Se presentan diseminados en toda la roca y como alteración de la biotita y anfíboles. El tamaño de sus cristales varía entre 0.02 a 0.50 mm.
- **Anfíboles:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales prismáticos, en algunos casos maclados y microfracturados alterados a biotita, epidota y minerales opacos. Presentan inclusiones de apatito y plagioclasas. El tamaño de sus granos varía entre 0.30 a 4.00 mm. Algunos presentan formas euhedrales y están asociados a esfena(R-054).
- **Esfena:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales y bordes redondeados, se presenta asociados a los anfíboles. El tamaño de sus cristales son menores a 0.25 mm.
- **Apatito:** Cristales subhedrales prismáticos de bordes redondeados, presentes como inclusiones de plagioclasas, cuarzo, anfíboles y biotita. El tamaño de sus cristales está entre los 0.10 mm.
- **Minerales secundarios:** Se encuentran como agregados y productos de alteración. Tenemos: arcillas, sericita, biotita, cloritas, epidota y óxidos de fierro. Algunos presentan carbonatos en los espacios intergranulares (R-053).

Muestra : R-053
 Color : Gris medianamente oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Tonalita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	47		x		x						x	x	x				x
Cuarzo	20			x							x						
Anfíboles	22		x		x						x	x					x
Opacos	6		x	x				x	x								
Esfena	Tr			x						x							
Secundarios	5			x						x	x						

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid + Carb +



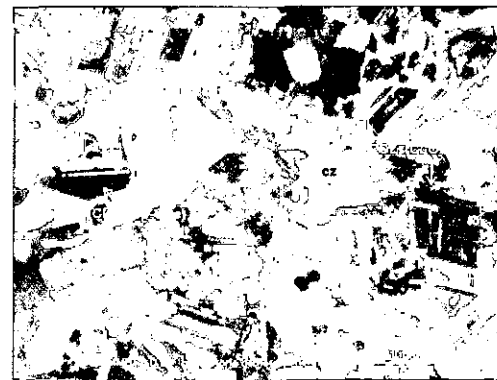
Plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGLs (ser-ARCs), cuarzo: (cz), anfíboles reemplazados por opacos: ANFs (OPs).

Muestra : R-054
 Color : Gris medio
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Tonalita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	59		x		x						x	x	x				
Cuarzo	20			x							x						
Feldespatos K	3			x													
Biotita	6		x	x	x												
Anfíboles	5	x	x		x												x
Opacos	4		x	x				x									
Apatito	Tr		x		x												x
Esfena	Tr			x													
Secundarios	3			x									x				

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +



Plagioclasas alteradas a cloritas, sericita y arcillas: PGLs (CLOs-ser-ARCs), cuarzo: (cz), biotita alterada a opacos y cloritas: bt(OPs-CLOs), anfíboles alterados a cloritas, epidota y opacos: ANFs (CLOs-ep-OPs).

5.2.3. MONZODIORITAS

Se encuentran representadas por las muestras R-010, R-044, R-055, R-059 y R-077, se presentan como rocas ígneas compactas de color gris claro. Presentan textura fanerítica de grano medio. Los minerales constituyentes son las plagioclasas incoloras a blanquecinas prismáticas, cuarzo hialino, feldespatos potásicos en menor proporción; anfíboles y biotita. Presentan magnetismo muy débil, dureza y densidad media. Algunas muestras presentan impregnaciones de óxidos de fierro (R-077).

Microscópicamente se observan rocas de textura granular hipidiomórfica con cristales de plagioclasas, cuarzo anhedral y feldespatos potásicos anhedrales. También minerales como anfíboles, biotita, minerales opacos, esfena, trazas de zircón y apatito. Los minerales de alteración son las arcillas, sericita, cloritas, epidota, biotita y óxidos de fierro. Algunos presentan óxidos en las fracturas (R-059).

Descripción Mineralógica:

- Plagioclasas (P): Cristales subhedrales y anhedrales prismáticos, maclados (macla polisintética) y algunos zonados. Se encuentran alterados a sericita, arcillas, epidota y cloritas. Presentan inclusiones de apatito, minerales opacos diseminados y el tamaño de sus cristales varía entre 0.30 a 4.00 mm. Algunos presentan óxidos de fierro en microfracturas (R-055) y textura antirapakivi (R-059).
- Cuarzo (Q): Cristales anhedrales, se encuentran entre los intersticios de los cristales de la roca. Presentan extinción ondulante y algunos se encuentran microfracturados. El tamaño de sus cristales varía entre 0.10 a 2.28 mm. Casos especiales como la muestra R-055 que se encuentra rellena por óxidos de fierro.
- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas anhedrales, también se presentan de forma intersticial teniendo inclusiones de apatito. Se encuentran alterados a arcillas. Sus cristales varían entre 0.30 a 4.00 mm. En algunos casos presentan textura de intercrecimiento de tipo pertítico y simplectítico (R-077). También se pueden encontrar

maclados (R-044 y R-055) y formar textura antirapakivi rodeando a cristales de plagioclasas(R-059).

- **Anfíboles:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales prismáticos, en algunos casos maclados (macla de Carlsbad) y microfracturados. Presentan textura poiquilítica con inclusiones de plagioclasas y minerales opacos diseminados. Se encuentran alterados a biotita, minerales opacos, óxidos de hierro, cloritas y epidota. El tamaño de sus cristales varían entre 0.30 a 4.20 mm. En algunos casos se encuentran asociados a esfena (R-055).
- **Biotita:** Cristales de formas subhedrales prismáticos y anhedrales, alterados a cloritas, minerales opacos y epidota. Algunos se encuentran alterados a óxidos de hierro. El tamaño de sus cristales varía entre 0.40 a 2.80 mm.
- **Minerales opacos:** Cristales de formas subhedrales a anhedrales, alterados a óxidos de hierro. Se encuentran diseminados en la roca y como alteración de los ferromagnesianos. El tamaño de sus cristales varía entre 0.10 a 0.90 mm. Algunos se encuentran asociados a esfena (R-077).
- **Esfena:** Cristales de formas subhedrales rómbicos a anhedrales alargados. Se encuentran asociados a anfíboles y biotita. Sus tamaños varían entre 0.09 a 0.60 mm.
- **Zircón:** Cristales de formas subhedrales y euhedrales prismáticos, se presentan como inclusión de biotita y cuarzo. Sus cristales están alrededor de 0.40 mm.
- **Apatito:** cristales euhedrales y subhedrales prismáticos de bordes redondeados, presentes como inclusiones de plagioclasas, cuarzo, anfíboles y biotita. Sus cristales varían de los 0.20 mm.
- **Minerales secundarios:** Se presentan como agregados y productos de alteración. Son: Arcillas, cloritas, sericita, epidota, biotita y óxidos de hierro.

Muestra : R-010
 Color : Gris claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Muestra : R-044
 Color : Gris medianamente oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Mineralogía :

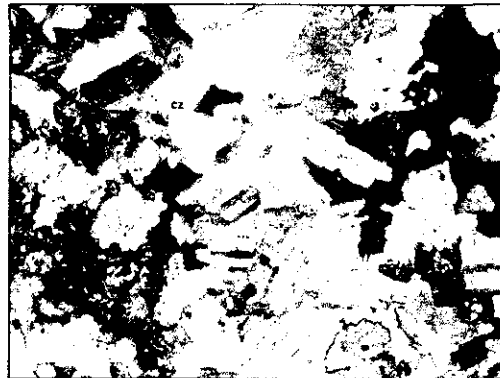
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales						
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl	
Plagioclasas	49		x	x	x							x	x					x
Cuarzo	8			x														
Feldespatos K	6			x														x
Anfíboles	12		x		x							x						x
Biotita	6		x		x													
Opacos	5		x	x								x						
Esfena	Tr		x	x														
Zircón	Tr		x															x
Apatito	Tr		x		x													x
Secundarios	14																	x

Mineralogía :

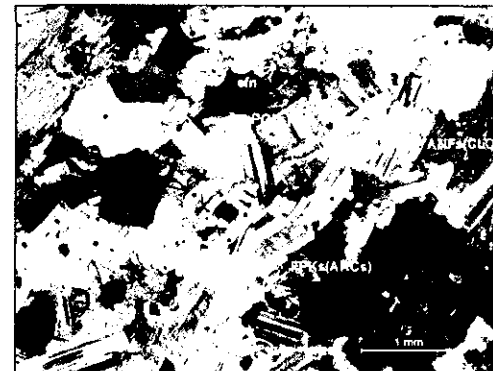
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales							
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl		
Plagioclasas	59		x		x													x	x
Cuarzo	12			x															
Feldespatos K	10			x														x	
Anfíboles	8		x		x							x						x	x
Biotita	3		x	x	x														
Opacos	2			x															
Esfena	Tr	x	x																
Secundarios	6																	x	

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid + Epid +



Plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGLs (ser-ARCs), cuarzo: (cz), Feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfíboles alterados a opacos y cloritas: ANFs (OPs-CLOs).



Plagioclasas alteradas a sericita y arcillas: PGLs (ser-ARCs), cuarzo: (cz), Feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), biotita alterada por cloritas y opacos: bt (CLOs-OPs), anfíboles alterados por cloritas: ANFs (CLOs) y esfena: efn.

Muestra : R-055
 Color : Gris claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	52		x		x						x	x	x				
Cuarzo	15			x							x						
Feldespatos K	8			x								x					
Biotita	10		x	x	x												
Anfiboles	8		x		x						x	x					x
Opacos	3			x						x							
Esfena	Tr			x													
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	4			x						x	x						

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid +Oxid +



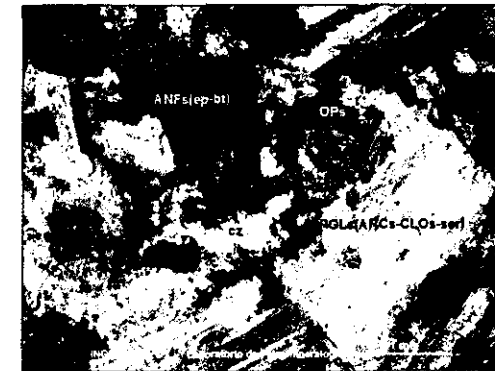
Plagioclasas alteradas a sericita, cloritas y arcillas: PGLs (ser-CLOs-ARCs), cuarzo: (cz), biotita alterada por opacos y epidota: bt (OPs-ep), anfiboles alterados por opacos y cloritas: ANFs (OPs-CLOs).

Muestra : R-059
 Color : Gris oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	52		x		x												x
Feldespatos K	7			x													
Cuarzo	4			x												x	
Anfiboles	7		x	x											x	x	
Opacos	7			x						x	x						
Ferromag				x													
Esfena	Tr			x	x												
Apatito	Tr		x														x
Secundarios	23			x											x		

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid + Ser +



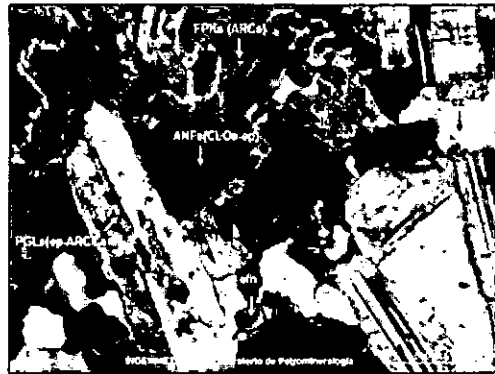
Plagioclasas alteradas a arcillas, cloritas y sericita: PGLs (ARCs-CLOs-ser), cuarzo: (cz), Feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfiboles alterados a epidota y biotita: ANFs (ep-bt).

Muestra : R-077
 Color : Gris claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Monzodiorita

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	49		x		x						x	x	x				
Cuarzo	11			x							x						
Feldespatos K	10			x													
Anfíboles	10		x		x			x				x					
Biotita	8		x	x	x												
Opacos	3		x					x									
Esfena	Tr	x	x														
Zircón	Tr		x		x												x
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	9																

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid +Oxid +



Plagioclasas alteradas a epidota, arcillas y sericita: PGLs (ep-ARCs-ser), cuarzo: (cz), Feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfíboles alterados a cloritas y epidota: ANFs (CLOs-ep), biotita: bt y esfena: efn.

5.2.4. DIORITAS

Macroscópicamente se describen como rocas ígneas de color gris verdoso, de textura fanerítica de grano fino a medio, los minerales constituyentes son las plagioclasas anhedrales y subhedrales, epidotas, anfíboles de aspecto fibroso y biotita. Presenta leve magnetismo. Dureza y densidad media. Está representado por las muestra R-009, R-045 y R-057.

Microscópicamente presentan textura granular hipidiomórfica, compuesta por cristales de plagioclasas, anfíboles, biotita, esfena, minerales opacos y apatito. Minerales de alteración como arcillas, anfíboles, epidota, biotita, sericita y clorita.

Descripción Mineralógica:

- Plagioclasas (P): Cristales subhedrales y anhedrales prismáticos, maclados (macla polisintética y macla de Carlsbad), algunos zonados y microfracturados. Muestran alteración a arcillas, epidota, sericita y cloritas. Presentan inclusiones de apatito, minerales opacos diseminados y asociado con esfena. El tamaño de sus cristales varía entre 0.10 a 5.20 mm.
- Cuarzo (Q): Cristales de formas anhedrales, algunas veces subhedrales y presentan extinción ondulante encontrándose en intersticios de los cristales. Algunos se encuentran microfracturados y presenta familias de inclusiones fluidas. El tamaño de sus cristales varía entre 0.11 a 1.40 mm.
- Feldespatos potásicos (A): Cristales de formas anhedrales, algunos se presentan maclados (microclina) y se encuentran entre los espacios intergranulares. Asimismo, se presentan englobando cristales de plagioclasas. Presentan alteración a arcillas y sericita. Sus cristales varían entre 0.60 a 2.00 mm.
- Anfíboles: Cristales de formas subhedrales prismáticos a anhedrales, algunos maclados y microfracturados. Alterados a biotita, carbonatos, opacos y cloritas. Presenta inclusiones de plagioclasas y textura

poiquilítica, y se encuentran asociados a esfena y minerales opacos diseminados. Sus cristales varían entre 0.05 a 4.00 mm.

- Biotita: Cristales de formas subhedrales prismáticos y anhedrales. Presenta inclusiones de apatito y minerales opacos diseminados. Se encuentran alterados a cloritas. Sus cristales varían entre 0.60 a 3.50 mm.
- Piroxenos: Cristales de formas subhedrales, se encuentran alterados a anfíboles, minerales opacos y cloritas. Sus cristales tienden a ser menores a 0.60 mm.
- Minerales opacos: Cristales de formas subhedrales y anhedrales. Se encuentran diseminados en la roca y como alteración de los ferromagnesianos. Algunos presentan alteración a óxidos de hierro. El tamaño de sus cristales varían entre 0.06 a 0.30 mm.
- Esfena: Cristales de formas subhedrales y euhedrales rómbicos. Se encuentran asociados a anfíboles. El tamaño de sus cristales son menores a 0.20 mm.
- Zircón: Cristales de formas subhedrales, prismáticos, se encuentran como inclusión de anfíboles. El tamaño de sus cristales es menor a 0.15 mm.
- Apatito: Cristales subhedrales prismáticos, de bordes redondeados, presentes como inclusiones de plagioclasas, anfíboles y biotita. El tamaño de sus cristales varía entre 0.02 a 0.20 mm.
- Minerales secundarios: Se presentan como agregados y productos de alteración. Tenemos: arcillas, anfíboles, epidota, cloritas, biotita y sericita. En algunos casos presenta carbonatos (R-045)

Muestra : R-009
 Color : Gris verdoso
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Diorita

Muestra : R-045
 Color : Gris medianamente oscuro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Diorita con cuarzo

Mineralogía :

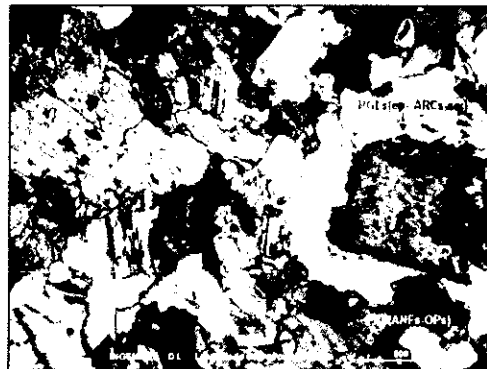
Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	56		x	x	x			x			x	x	x				x
Anfíboles	22		x	x	x			x			x	x					x
Biotita	5		x	x	x			x									x
Piroxenos	4		x														
Opacos	3		x	x				x									
Esfena	Tr	x	x														
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	10			x						x							

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	54		x		x						x	x	x				x
Cuarzo	12			x							x						x
Feldespatos K	8			x								x					
Anfíboles	10		x	x	x						x	x					x
Biotita	4		x	x	x												
Opacos	3			x										x			
Esfena	1		x	x													
Zircón	Tr		x		x												x
Apatito	Tr		x		x												x
Secundarios	8			x										x			

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid +

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Oxid + Ser +



Plagioclasas alteradas a epidota, sericita y arcillas: PGLs (ep-ser-ARCs), cristales de piroxenos alterados a anfíboles y opacos: PXs (ANFs-OPs).



Plagioclasas alteradas por sericita, cloritas y arcillas: PGLs (ser-CLOs-ARCs), cuarzo: (cz), Feldespatos K alterados a arcillas: FPKs (ARCs), anfíboles alterados por biotita, cloritas y opacos: ANFs (bt-CLOs-OPs), biotita alterada a opacos: bt (OPs):

Muestra : R-057
 Color : Gris claro
 Textura : Granular hipidiomórfica
 Denominación : Diorita con cuarzo

Mineralogía :

Mineral	%	Forma				Ocurrencia						Caract. Especiales					
		Eh	Sh	Ah	Pr	F	M	D	A	Ais	Mi	Ma	Z	C	R	Cr	Incl
Plagioclasas	48		x		x						x	x	x				
Cuarzo	8		x	x							x						
Feldespatos K	4			x													
Anfíboles	12		x	x								x					
Opacos	7		x	x				x									
Esfena	1		x														
Apatito	Tr		x		x												x
Zircón	Tr		x		x												x
Secundarios	20			x					x								

Matriz: No presenta
 Líticos: No presenta
 Alteraciones: Arg + Clor + Epid +Oxid +



Plagioclasas alteradas a cloritas y arcillas: PGLs (CLOs-ARCs), cuarzo: (cz), anfíboles alterados a biotita, cloritas y opacos: ANFs (bt-CLOs-OPs), opacos diseminados en roca: OPs.

5.3 ESTUDIO MINERAGRÁFICO

Se han analizado en total 31 muestras para su respectivo análisis mineragráfico. Entre las más importantes tenemos:

- **R-034 LA PURÍSIMA 10**

Estudio Petrográfico: Monzogranito Linga

Textura: Diseminada, de reemplazamiento y como relleno de porosidades

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (1.5%): Cristales subhedrales a anhedrales, con tamaños que oscilan entre los 0.55 mm, se presentan diseminados y relleno intersticios de cristales de ganga, alterados por hematita. Esto evidencia el proceso de martitización que sufrieron dichos cristales. Asimismo están reemplazados mediante sus bordes y fracturas por ilmenita. Algunos cristales más pequeños se encuentran como inclusiones en gangas.
- ✓ Ilmenita (2%): Cristales de formas anhedrales y subhedrales cuyos tamaños son menores a 0.36 mm, algunos se encuentran reemplazando a los cristales de magnetita por sus bordes asociados a hematita.
- ✓ Hematita (0.5%): Producidos principalmente por la alteración de la magnetita en algunos casos reemplaza casi totalmente. También se presenta como producto de la alteración de minerales de ganga.
- ✓ Pirita (traza): Cristales de formas subhedrales, se presenta diseminando en magnetita y en ganga, con tamaños menores a 0.004 mm.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas anhedrales que se presentan intercrecidos y como relleno de porosidades en cristales de magnetita con tamaños menores a 0.02 mm, algunos están asociados a covelita.
- ✓ Goethita (0.5%): Cristales de formas subhedrales a anhedrales, se encuentran libres y asociados a cristales de ilmenita y magnetita, sus tamaños son menores a 0.12 mm.
- ✓ Covelita (traza): Escasos cristales, se encuentran asociados a magnetita y como alteración de calcopirita.

Las gangas ocupan el 95% del porcentaje acumulado, la secuencia de formación posible es: Magnetita, ilmenita, pirita, calcopirita, covelita, hematita y goethita.

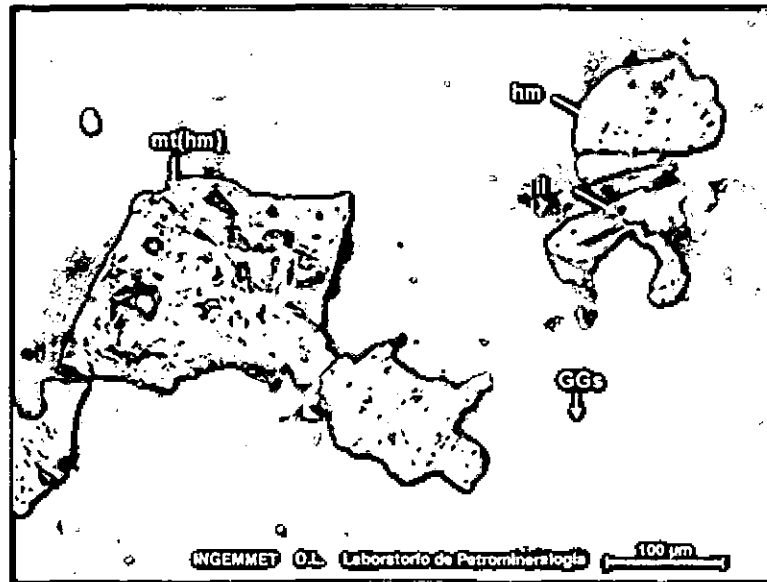


Figura 5.1 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), asociado y desarrollado en zonas de fracturas se encuentra ilmenita: il, como diseminados y asociados en gangas (GGs).

- **R-028 TORO**

Estudio Petrográfico: Monzonita con cuarzo Linga

Textura: Diseminada y de reemplazamiento

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (0.5%): Cristales de formas subhedrales a euhedrales, con tamaños menores a 1.10 mm, algunos cristales se encuentran reemplazados a través de su clivaje y bordes por ilmenita, así también presenta remanentes de magnetita reemplazados por hematita lo cual evidencia el proceso de martitización.
- ✓ Rutilo (traza): Se presentan en agregados de cristales subhedrales a anhedrales, se encuentran asociados y algunos intercrecidos con ilmenita. Asimismo se presenta como reemplazamiento de minerales de ganga.

- ✓ Ilmenita (1.5%): Se presentan diseminados y como reemplazamiento. Cristales de formas subhedrales, euhedrales que están diseminados en la roca y asociados a minerales de ganga, presentan tamaños menores a 0.90mm. De formas anhedrales lo encontramos asociados a rutilo y hematita, así también reemplaza cristales de magnetita.
- ✓ Hematita (1%): Se presenta como reemplazamiento lamelar en magnetita, producidos principalmente por la alteración de magnetita e ilmenita en algunos casos reemplaza casi totalmente.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas anhedrales, se encuentran diseminados en los cristales de ganga y están asociados a goethita con tamaños menores a 0.014 mm.
- ✓ Goethita (0.5%): De forma anhedral a subhedral, presentan tamaños menores a 0.015 mm, ocurren producto de la alteración de minerales de ganga y magnetita.

Las gangas ocupan el 96.5% del porcentaje aproximado de la muestra. La secuencia probable es: Magnetita, ilmenita, hematita, rutilo, calcopirita, goethita.

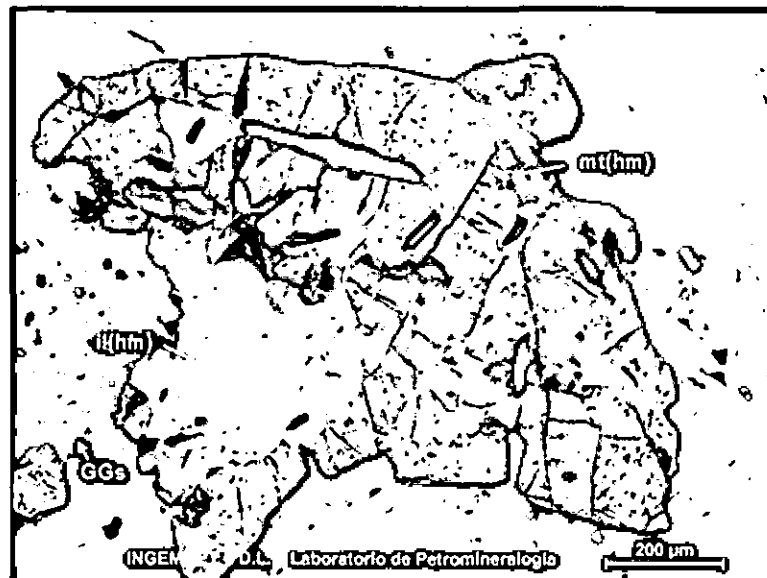


Figura 5.2 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), Reemplazado y asociado a través de sus bordes por Ilmenita alterada por hematita: il (hm), como diseminados en gangas (GGs).

- **R-001 COBREPAMPA**

Estudio Petrográfico: Monzodiorita Linga

Textura: Diseminada, exsolución y de reemplazamiento

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Ilmenita (3%): Cristales anhedrales a subhedrales romboédricos alargados con tamaños que van desde 0.01 hasta 0.96 mm, se encuentran diseminados, también en asociación con magnetita y hematita. Se presentan algunos cristales diseminados intercrecidos con gangas.
- ✓ Magnetita (2%): Cristales anhedrales a subhedrales con tamaños menores a 0.55 mm, se encuentran diseminados en gangas. Están alterados a hematita, algunos muestran textura de exsolución lamelar, evidenciando el proceso de martitización. Algunos cristales están intercrecidos con gangas.
- ✓ Hematita (0.5%): Cristales anhedrales secundarios, producto de la alteración de magnetita, en algunos casos se encuentra como reemplazamiento total. También como reemplazo de cristales (gangas).
- ✓ Limonitas (1%): De formas anhedrales principalmente como impregnaciones en las gangas y oquedades.

Las gangas ocupan el 93.5 % del porcentaje aproximado total de la muestra. La secuencia de formación posible: Magnetita, ilmenita, hematita y limonitas.

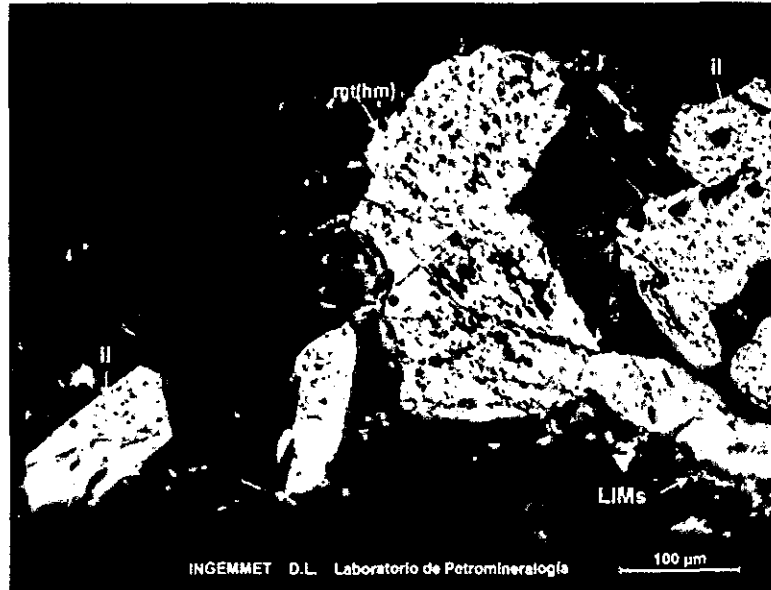


Figura 5.3 Cristales de ilmenitas (il) y magnetita en exsolución lamelar, alterada a hematita mt(hm); asociados a limonitas (LIMs) y diseminados en gangas (GGs).

- **R-051 PAMPA ORJO CANCHETE**

Estudio Petrográfico: Monzogranito Tiabaya

Textura: Diseminada y de reemplazamiento

Alteraciones: Oxidación incipiente

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (1 %): Cristales de formas anhedrales a euhedrales, con tamaños menores a 0.50 mm, se encuentran diseminados, algunos cristales se encuentran reemplazados por ilmenita y asociados a esfena, están alterados por hematita y en algunos casos lo reemplaza casi totalmente, lo cual evidencia el proceso de martitización.
- ✓ Calcopirita (trazas): Cristales de forma subhedral, se encuentra diseminado en las gangas, con tamaño menores a 0.014 mm.
- ✓ Ilmenita (trazas): Escasos cristales de formas anhedrales, se presenta reemplazando los cristales de magnetita, así también se observa exsolución lamelar con hematita.
- ✓ Hematita (0.50%): Ocurre como reemplazamiento lamelar en magnetita, a través de los clivajes, producidos principalmente por la alteración de

magnetita, en algunos casos reemplaza casi totalmente, también es producto de la alteración de la ganga.

- ✓ Pirita (trazas): Cristales de forma subhedral, se presenta diseminado con tamaño de 0.005 mm.

Las gangas ocupan el 98.5 % del porcentaje total aproximado. La secuencia de formación probable es: magnetita, ilmenita, hematita, calcopirita y pirita.

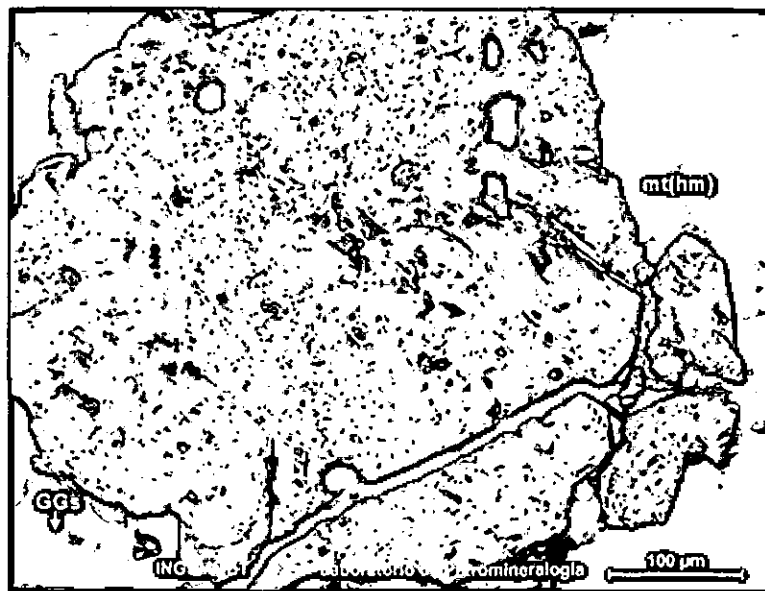


Figura 5.4 Cristales de magnetita alterada a hematita, reemplazado a través de sus bordes y clivaje: mt (hm), diseminados en gangas (GGs)

• R-022 PAMPA REDONDA

Estudio Petrográfico: Granodiorita Tiabaya

Textura: Diseminado, reemplazamiento y exsolucion lamelar.

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (2%): Cristales anhedrales y subhedrales de tamaños menores a 0.27 mm. Se encuentran diseminados en las gangas y algunas como relleno de microfracturas. Se observa reemplazamiento lamelar de magnetita por hematita y también es reemplazada por ilmenita.
- ✓ Hematita (traza): Ocurre con formas anhedrales como producto de la alteración, algunos presentan reemplazamiento lamelar en magnetita.

Algunos se encuentran diseminados en gangas con tamaños menores a 0.05 mm y asociados a rutilo.

- ✓ Rutilo (traza): Cristales de formas anhedrales a subhedrales tabulares, con tamaños menores a 0.20 mm, se encuentran asociados a magnetita y hematita.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales anhedrales de tamaños menores a 0.006 mm, se encuentran asociada a la magnetita y diseminados en las gangas.

Las gangas ocupan el 98% del porcentaje aproximado de la muestra. La secuencia de formación probable es: Magnetita, hematita, rutilo y calcopirita.

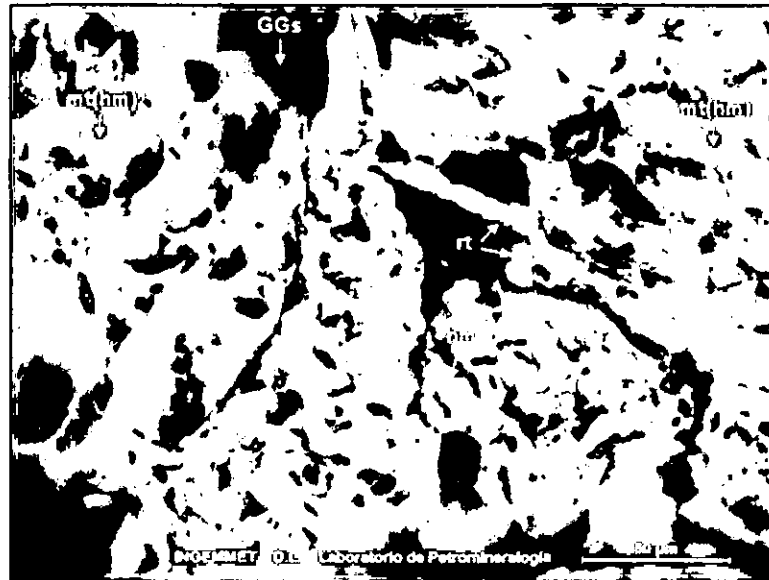


Figura 5.5 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), que se muestra principalmente en exsolución lamelar, asociado a rutilo (rt). Los cuales se encuentran diseminados en gangas (GGs).

- **R-054 CERRO PEDREGOSO**

Estudio Petrográfico: Tonalita Tiabaya

Textura: Diseminada, relleno de oquedades y de reemplazamiento.

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (2%): Cristales de formas anhedrales, subhedrales y euhedrales, diseminados, con tamaños menores a 0.45 mm. Están alterados a hematita y en algunos casos reemplaza casi totalmente con relictos de magnetita. También se encuentra reemplazada mediante sus bordes y clivajes por ilmenita.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas subhedrales a euhedrales, con tamaños menores a 0.035 mm, se presentan diseminados en cristales de magnetita, algunos están asociados a pirita.
- ✓ Ilmenita (0.5%); Cristales de formas anhedrales con tamaños menores a 0.026 mm, presentes como relleno de fracturas, bordes y oquedades en algunos cristales de magnetita, están alterados por hematita, en exsolución lamelar.
- ✓ Pirita (traza): Cristales de formas subhedrales con tamaños menores a 0.015 mm, se presentan diseminados y algunos están asociados a calcopirita.
- ✓ Hematita (traza): Ocurren de formas anhedrales secundarios, producto de la alteración de magnetita e ilmenita. Textura de reemplazamiento y exsolución.
- ✓ Goethita (traza): Cristales anhedrales con tamaños menores a 0.08 mm, diseminados y asociados a magnetita.

Las gangas ocupan el 97.5% del porcentaje aproximado total de la muestra y la secuencia de formación probable es: Magnetita, hematita, ilmenita, calcopirita, pirita y goethita.

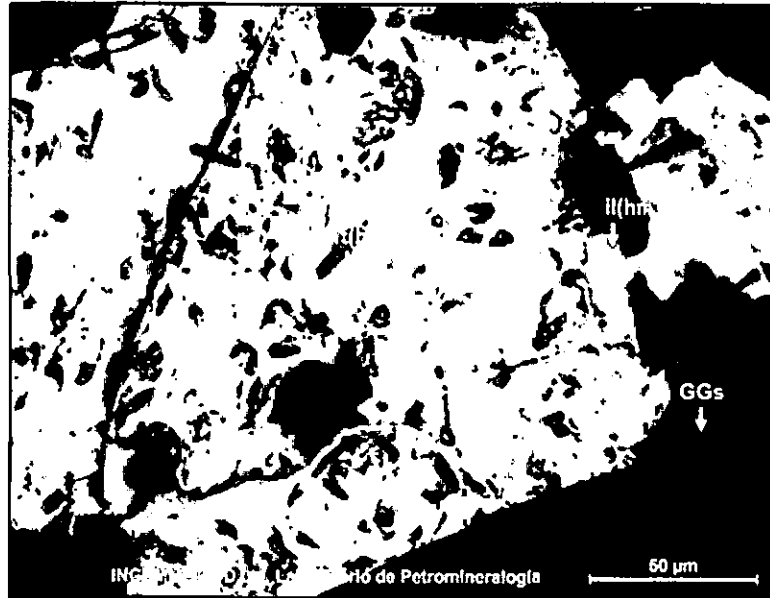


Figura 5.6 Cristales de magnetita alterada a hematita: mt (hm), asociado y desarrollado en zonas de clivaje se encuentra ilmenita con hematita: il (hm), diseminados en gangas (GGs).

- **R-059 OESTE QUEBRADA PALLJAY HUARMI**

Estudio Petrográfico: Monzodiorita Tiabaya

Textura: Diseminada y de reemplazamiento.

Alteraciones: Oxidación muy débil

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (1%): Cristales de formas subhedrales a anhedrales, con tamaños menores a 0.62 mm. Están alteradas por hematita que ocurre como reemplazamiento lamelar, lo cual evidencia el proceso de martitización. Así también están reemplazados por bordes y fracturas por ilmenita. Presenta inclusiones de pirita.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas subhedrales con tamaños menores a 0.028 mm, se presenta diseminado en goethita.
- ✓ Pirita (traza): Cristales de formas euhedrales a subhedrales, con tamaños menores a 0.035 mm, se encuentran diseminados, relleno de porosidades y asociados a esfalerita.
- ✓ Ilmenita (1%): Cristales de formas anhedrales, se presentan diseminados en las gangas con tamaños menores a 0.35 mm.

- ✓ Hematita (2%): Ocurre como reemplazamiento lamelar en magnetita, a través de los clivajes, producidos principalmente por la alteración de magnetita e ilmenita en algunos casos reemplaza casi totalmente. También se observan como producto de la alteración de ganga.
- ✓ Goethita-Lepidocrocita (0.5%): De formas subhedrales presentan textura coloforme, algunos prismáticos de tamaños menores a 0.24 mm. Presenta inclusión de calcopirita y esfalerita, está asociado a magnetita-hematita.

Las gangas ocupan el 95.5% del porcentaje total aproximado y la secuencia de formación probable es: Calcopirita, ilmenita, hematita, calcopirita, pirita y goethita-lepidocrocita.

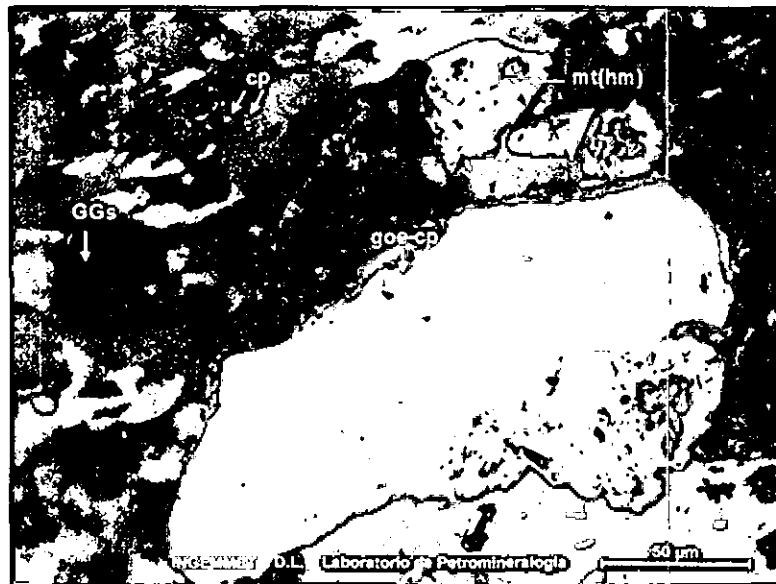


Figura 5.7 Remanentes de magnetita alterada a hematita: *mt (hm)*, asociado a goethita con inclusiones de calcopirita: *goe-cp*, calcopirita: *cp*, relleno de gangas (*GGs*).

• **R-081 QUEBRADA PALLJAY HUARMI**

Estudio Petrográfico: Diorita con cuarzo Tiabaya

Textura: Diseminada, relleno de porosidades y de reemplazamiento

Alteraciones: Oxidación incipiente

Descripción Microscópica:

- ✓ Magnetita (1%): Cristales de formas anhedrales y subhedrales con tamaños que varían desde 0.01 a 0.47 mm. presentes como diseminados en las gangas, principalmente en minerales máficos. Se encuentra reemplazados mediante sus bordes y fracturas por ilmenita.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas euhedrales con tamaños menores a 0.03 mm, se presenta como diseminado en gangas y como relleno de porosidades de la ilmenita.
- ✓ Pirita (traza): Cristales de formas subhedrales, se encuentran diseminados en gangas, con tamaños menores a 0.09 mm.
- ✓ Ilmenita (traza): Cristales de formas anhedrales a subhedrales, con tamaños menores a 0.81 mm, se encuentran reemplazando a los cristales de magnetita a través de sus bordes y microfracturas. Asociado y alterado por hematita.
- ✓ Hematita (0.5%): Ocurre como reemplazamiento lamelar en magnetita, ubicado a través de los planos de clivaje, producidos principalmente por la alteración de magnetita e ilmenita.

Las gangas ocupan el 96.5% del porcentaje acumulado. La secuencia de formación probable es: Magnetita, ilmenita, hematita y calcopirita.

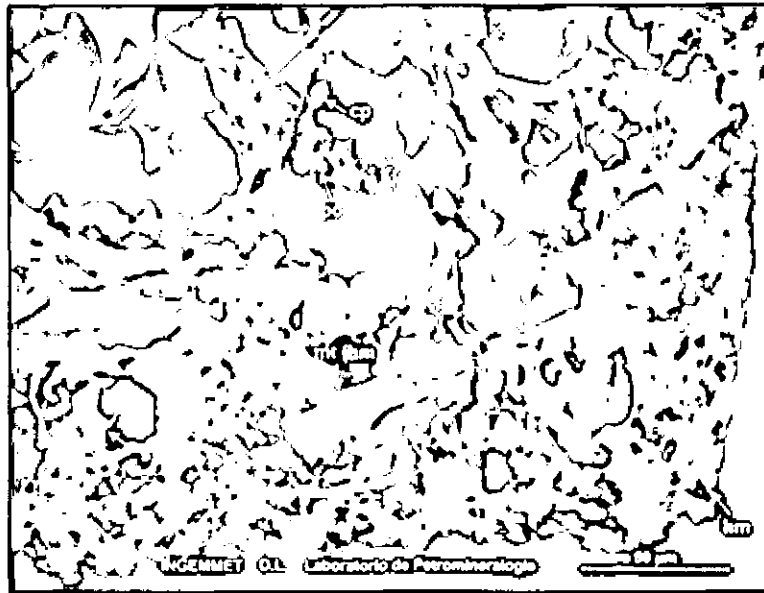


Figura 5.8 Cristales de magnetita alteradas a hematita: mt (hm), en textura de exsolución lamelar, que a su vez presenta inclusiones de goethita (goe), pirrotita (po) reemplazada por calcopirita (cp).

- **R- 009 QUEBRADA SANTA ROSA**

Estudio Petrográfico: Diorita Tiabaya

Textura: Diseminado y reemplazamiento

Alteraciones: Oxidación incipiente

Descripción Microscópica:

- ✓ Ilmenita (1%): Cristales anhedrales con bordes subredondeados de tamaños menores a 0.40 mm, presentes como diseminados y asociados a magnetita. Se encuentra alterada a hematita y rutilo.
- ✓ Magnetita (0.5%): Cristales subhedrales, algunos con bordes subredondeados, con tamaños que varían desde 0.01 hasta 0.48 mm, presentes como diseminados en toda la roca. Se encuentra alterada en textura de exsolución lamelar a hematita. Se encuentra reemplazada por ilmenita.
- ✓ Rutilo: De formas anhedrales con tamaños promedio de 0.05 mm, se encuentra como alteración de la ilmenita.

- ✓ Hematita (traza): Cristales anhedrales secundarios, producto de la alteración de la magnetita e ilmenita, presenta textura de exsolución y lamelar en magnetita.
- ✓ Goethita (traza): Cristales anhedrales, con tamaños que varían desde 0.03 hasta 0.27 mm, está presente como diseminado en gangas, con textura coliforme y asociada con pirita.
- ✓ Pirita (traza): Cristales anhedrales a subhedrales, con tamaños menores a 0.02 mm, presentes como diseminado en gangas y goethita.
- ✓ Calcopirita (traza): Cristales de formas anhedrales, con tamaños menores a 0.01 mm, presentes como diseminado en la roca y asociado a pirita.

Las gangas ocupan el 98.5% del porcentaje acumulado y la secuencia de formación probable es: Magnetita, ilmenita, pirita, goethita y hematita.

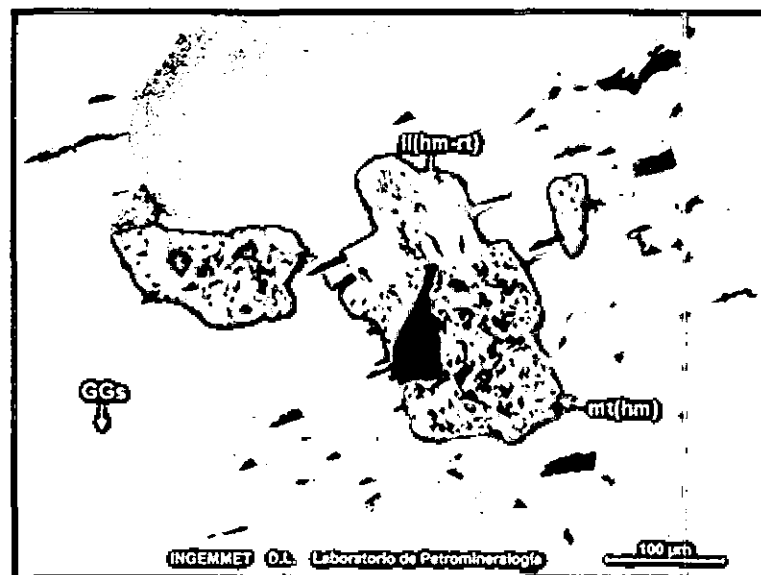
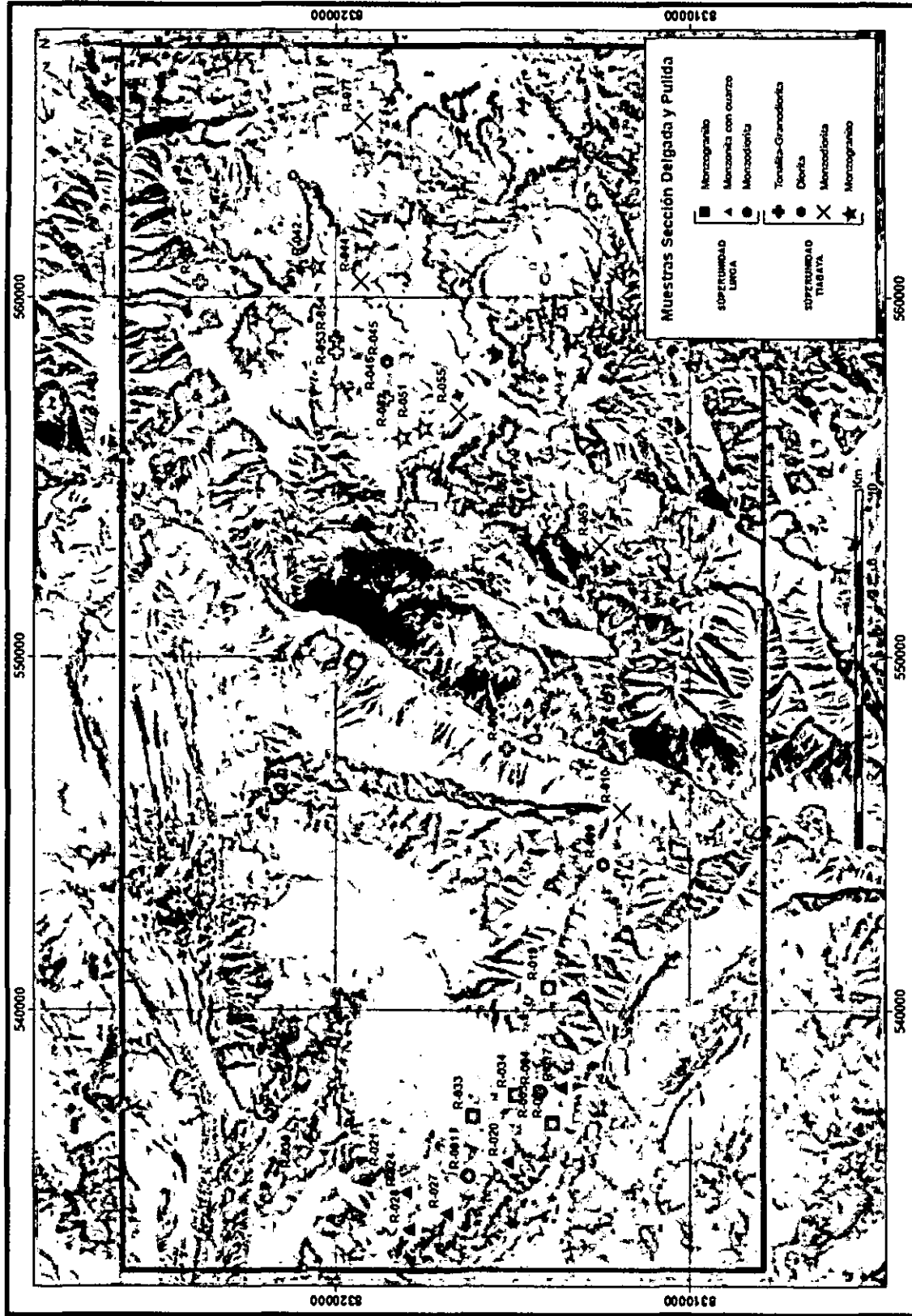


Figura 5.9 Cristales de magnetita alteradas a hematita: *mt (hm)*, asociado a cristales de ilmenita, alterada a hematita y rutilo: *il (hm-rt)*. Diseminados en gangas (GGs).

SUPERUNIDAD LINGA (COBREPAMPA)			SUPERUNIDAD TIABAYA (CANCHETE)		
ROCA	CODIGO	SECTOR	ROCA	CODIGO	SECTOR
MONZODIORITA	R-001	Cobrepampa	MONZOGRANITO	R-042	Pampa Orjo Canchete
	R-004	NO de Santa Rosita		R-051	Pampa Orjo Canchete
MONZOGRANITO	R-002	Quebrada Calapampa		R-052	Pampa Orjo Canchete
	R-019	Huarato Joven	R-008	Visita	
	R-033	Santa Macladina	R-022	Pampa Redonda	
	R-034	Purísima 10- Cumbre Alta	R-046	Pampa Orjo Canchete	
MONZONITA CON CUARZO	R-003	NO de Santa Rosita	GRANODIORITA TONALITA	R-073	Canchete
	R-017	Norte Cerro Conchuco		R-053	Pampa Orjo Canchete
	R-020	Magdalena		R-054	Cerro Pedregoso
	R-021	La Perricholi		R-010	Qda Santa Rosa
	R-024	Cobrepampa	MONZODIORITA	R-041	Cerro Pedregoso
	R-027	Sur Cerro Magdalena		R-044	Cerro Pedregoso
	R-028	Toro		R-055	Cerro Canchete Hembra
	R-030	Argentina		R-059	Oeste de Qda Palljay Huarmi
	R-031	Palca		R-077	Canchete
	R-032	Santa Clara	DIORITA	R-045	Pampa Orjo Canchete
	R-061	Huarato Viejo		R-057	Qda Palljay Huarmi
				R-009	Quebrada Santa Rosa

Cuadro 5.1 Cuadro Resumen de la distribución petrográfica de las muestras de la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya



Mapa 5.1 Mapa de distribución espacial de las muestras de secciones delgadas y pulidas del área de estudio

CAPÍTULO VI

LITOGEOQUÍMICA DE LA SUPERUNIDAD LINGA Y SUPER UNIDAD TIABAYA

6.1. INTRODUCCIÓN

Nos referimos al Magmatismo como una serie de procesos geológicos los cuales se encuentran relacionados con la fusión de grandes masas en el interior de la Tierra. El magma es una mezcla generalmente silicatada cuyo principal componente, es la sílice que incluye normalmente una fase fluida y una fase sólida. Mayoritariamente contiene silicatos, óxidos, sulfuros, etc., con hasta un 10% de elementos volátiles disueltos.

A raíz de la profundidad con la que se consolidan formarán las rocas intrusivas, hipabisales y volcánicas. Existen diversos procesos a través del cual se generan las rocas ígneas, pero los principales son: fusión parcial, cristalización fraccionada, mezcla de magmas y asimilación. El proceso a través del cual se genera un líquido partiendo de un sólido preexistente y donde pueden intervenir o no las fases que lo constituyen se denomina fusión parcial.

Cuando se produce la precipitación de los minerales (segregación), comienza el ascenso de los magmas hacia la superficie. A medida que van ascendiendo la densidad de las rocas siendo mucho menor hace que los magmas se vayan paralizando originando la cámara magmática. Dentro de esta cámara, el magma evoluciona en condiciones isobáricas, ya que pierde calor por las paredes de aquella, de esta manera la temperatura desciende por debajo de la del líquido empezando la cristalización magmática.

La serie de Bowen es el orden de cristalización de los minerales del grupo de los silicatos. Está dada por la termodinámica del proceso de cristalización y la composición del magma que cristaliza. Expresa por tanto de manera simplificada el orden común en el que formarían los minerales más abundantes de un magma a

partir de la cristalización de su fase fluida y de la transformación de los primeros minerales formados.

La combinación de dos o más magmas coetáneos de composición más o menos contrastada se le conoce como Mezcla de Magmas. La Asimilación es la incorporación y digestión de un material preexistente por un magma.

Las rocas intrusivas se forman cuando la consolidación de los magmas se produce en el interior de la corteza terrestre, es así como el enfriamiento lento permite una cristalización total de la roca. Una vez formado un magma migra hacia zonas de menor presión. Los mecanismos de migración, la evolución durante el proceso y el emplazamiento determinan las características finales de las rocas.

6.2. COMPOSICION QUÍMICA DE LAS ROCAS

A través de la geoquímica se puede hacer la caracterización e identificación de los procesos geológicos que han actuado en distintos ambientes geotectónicos a través del comportamiento de los elementos químicos. Estos elementos son: Elementos Mayores y Elementos Traza. Es así como el análisis de las rocas profundas permite tener una idea acerca de la composición química del magma.

6.2.1. ELEMENTOS MAYORES

Son aquellos componentes químicos de una roca cuya proporción en la misma normalmente supera el 1%. Su concentración se expresa en tanto por ciento en peso (% peso o wt%) de los óxidos correspondientes. Se denominan de esta manera porque se encuentran en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de minerales petrogenéticos en las rocas a partir de fundidos. La concentración de los elementos mayores es generalmente hecho para cationes y se asume que están acompañados por una apropiada cantidad de oxígeno. La suma de los óxidos debe dar 100% (Rollinson, 1993). A través de un estudio para calcular la composición media de las rocas intrusivas Clarke y Washington (1924) consideraron los siguientes elementos mayores:

- SiO₂ (59.14%)
- Al₂O₃(15.34%)
- CaO (5.08%)
- Na₂O (3.84%)
- FeO (3.80 %)
- MgO (3.49%)
- K₂O (3.13%)
- Fe₂O₃(3.08%)
- H₂O (1.15%)
- TiO₂(1.05%)

Estos elementos constituyen el 99% del total de la corteza terrestre. Siendo la sílice el óxido dominante. La mayoría de las rocas intrusivas contienen entre 30 y 80% de SiO₂.

Los elementos mayores básicamente son usados en: clasificación y nomenclatura de las rocas, en los diagramas de variación (interrelación de los elementos e inferir procesos geoquímicos) y como un medio de comparación con composiciones de rocas determinados experimentalmente (Rollinson, 1993). Los más conocidos y usados son: el diagrama bivalente de Harker que muestra la variación del porcentaje en peso de los diferentes óxidos con respecto al porcentaje en peso de la sílice (SiO₂). El diagrama de De la Roche es muy usado para clasificar rocas plutónicas usando cationes.

La clasificación petrográfica de las rocas es una base importante en su descripción y respectivo análisis, sin embargo, no es suficientemente robusta para definir las puesto que casi todos los minerales admiten sustituciones considerables en su estructura, lo que hace que se encuentren rocas con igual composición mineralógica y distinta composición química (Rivera, 2007).

Por ende el análisis químico es un complemento muy necesario de la investigación petrológica. Los análisis de elementos mayores y trazas conllevan a determinar la génesis de las rocas, es decir su petrogénesis. Es así que para la clasificación química de las rocas intrusivas se usa básicamente el Diagrama TAS (Álcalis total vs Sílice) y otros diagramas como por ejemplo el De la Roche (R1 vs R2).

A. Diagrama R1-R2 (De la Roche et al, 1980) utilizando cationes

Con el fin de evitar la crítica de que los datos del peso de los óxidos (%) no reflejan fielmente la distribución de cationes de una muestra, una serie de autores prefieren volver a calcular la composición de las rocas como cationes. Los pasos a seguir son:

- El porcentaje en peso del óxido (%) se divide por el peso equivalente del óxido ajustado a un catión y se expresa a menudo de forma ligeramente diferente.
- El porcentaje en peso del óxido (%) es dividido por el peso molecular del óxido y multiplicado por el número de cationes en la unidad de fórmula.
- Así el % en peso del SiO se divide por 60.09. Sin embargo, el % en peso del Al₂O₃ se divide por 101.96 y luego se multiplica por 2. En algunos casos, la proporción de los cationes se multiplican por 1000 y descritos como milicaciones.

Los resultados se representan en un gráfico de dos variables XY utilizando parámetros R1 y R2. R1 se traza en el eje X y se define como:

$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]$$

Donde el Fe representa el hierro total. R2 se traza a lo largo del eje Y y se define como:

$$R2 = (Al + 2Mg + 6Ca)$$

Las ventajas de este esquema de clasificación son que:

1. La totalidad de elementos mayores de la química de la roca se utiliza en la clasificación.
2. El sistema es lo suficientemente general como para aplicar a todo tipo de roca ígnea.
3. La composición de los minerales también se pueden representar en el diagrama, lo que permite una amplia comparación entre modal y datos químicos.
4. El grado de saturación de sílice y el cambio de las composiciones de los feldespatos puede ser mostrado.

El problema con este diagrama de clasificación en particular es que es difícil de entender y difícil de usar. Los parámetros R1 y R2 no tienen inmediato significado,

es decir, hace el diagrama difícil de entender a primera vista. Además, los límites del campo son curvilíneas y así son difíciles de reproducir.

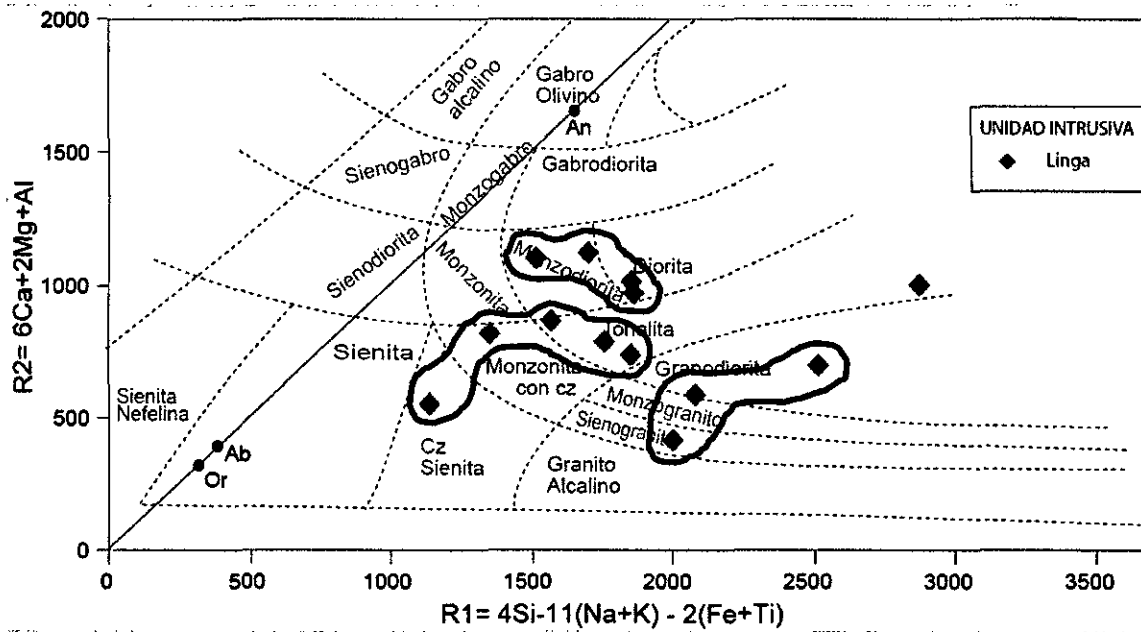


Figura 6.1 Diagrama R1 vs R2 (De la Roche et al, 1980) para la Superunidad Linga

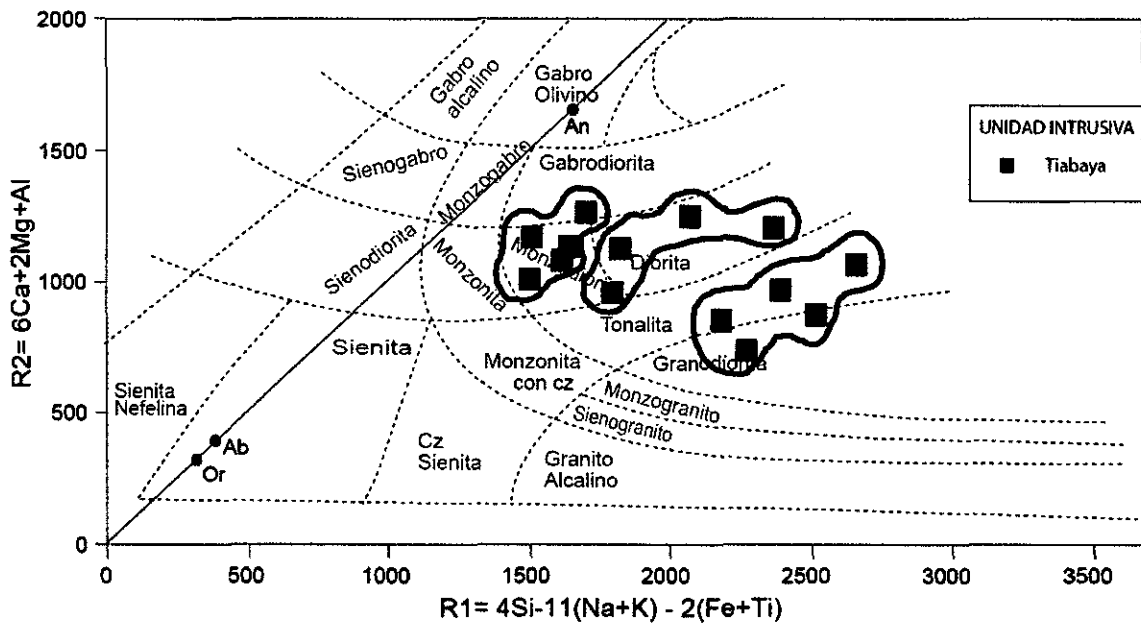


Figura 6.2 Diagrama R1 vs R2 (De la Roche et al, 1980) para la Superunidad Tiabaya

En la figura 6.1 se puede observar claramente que las muestras ploteadas pertenecen a rocas de composición básicamente intermedia. Se han definido tres grupos de rocas en la Superunidad Linga. Un 1er grupo de rocas Monzodioríticas que varía débilmente a dioritas. Un 2do grupo Monzonítico con cuarzo con variaciones entre cuarzo sienitas y tonalitas. Por último un 3er grupo Monzogranítico con variaciones que van desde sienogranitos a granodioritas, algunas muestras corren hacia los campos potásicos lo que indica la baja en Ca y Mg.

Para la Superunidad Tiabaya (figura 6.2) se reconocen tres grupos de rocas muy claramente distribuidas. Un 1er grupo Monzodiorítico. Además un 2do grupo diorítico con algunas muestras donde el porcentaje de cuarzo es mucho mayor y tienden hacia el campo de las tonalitas y un 3er grupo tonalítico-granodiorítico.

B. Diagrama TAS Total Álcalis vs Sílice (Le Maitre et al , 2002)

Es de gran utilidad práctica puesto que no hay otra clasificación química simple para este tipo de rocas. Sin embargo, los límites se basan en gran medida de una versión anterior que TAS ideó para las rocas volcánicas por Cox et al. (1979) y por lo tanto no son consistentes con los límites del diagrama TAS. La data de este diagrama son tomados directamente de una análisis de roca como óxido en wt% y ploteado dentro del diagrama de clasificación.

El diagrama TAS divide rocas por su contenido de sílice en ultrabásicas (SiO_2 menor de 45%), básicas (SiO_2 de 45 a 52%), intermedias (SiO_2 de 52 a 66%) y ácidas (SiO_2 mayor de 66%) siguiendo el uso de Peccerillo & Taylor (1976). La rutina del cálculo según Cox et al (1979) es la siguiente:

- Selección de rocas frescas y se consideran aquellas que tienen $\text{H}_2\text{O}^+ < 2\%$ y $\text{CO}_2 < 0.5\%$.
- Se recalculan al 100% los análisis eliminando H_2O y CO_2 .
- La relación de FeO a Fe_2O_3 se mantiene como haya sido dada en el análisis.

- Se suman Na_2O y K_2O . Por último se proyecta en el diagrama para así poder determinar el nombre de la roca.

Cabe indicar que el Diagrama TAS de Le Maitre et al (2002) propone una clasificación para las rocas plutónicas introduciendo una división en cuanto a su contenido de Álcalis (serie magmática):

a) Serie toleítica (SiO_2 mayor de 62%): Se forma a partir de magmas basálticos, relativamente ricos en SiO_2 y pobres en Álcalis, y que se enfrían rápidamente con poca oportunidad de diferenciarse. Se forman, por tanto, basaltos y gabros. Esta serie es típica de las dorsales oceánicas y, por extensión, del resto de los fondos oceánicos.

b) Serie alcalina (SiO_2 menor de 51 %): A partir de magmas basálticos alcalinos, ricos en Na y K. Se pueden diferenciar totalmente, desde rocas básicas (basaltos y gabros) hasta rocas ácidas (riolitas y granitos). Esta es típica de zonas de intraplaca, principalmente de la mayoría de islas volcánicas.

c) Serie calcoalcalina (SiO_2 entre 51 a 62 %): No proviene claramente de un magma primario. Sus rocas poseen numerosos minerales hidratados (anfíboles, biotita). Predominan las rocas intermedias, como las andesitas. Esta serie es típica de los bordes destructivos de placa (zonas de subducción).

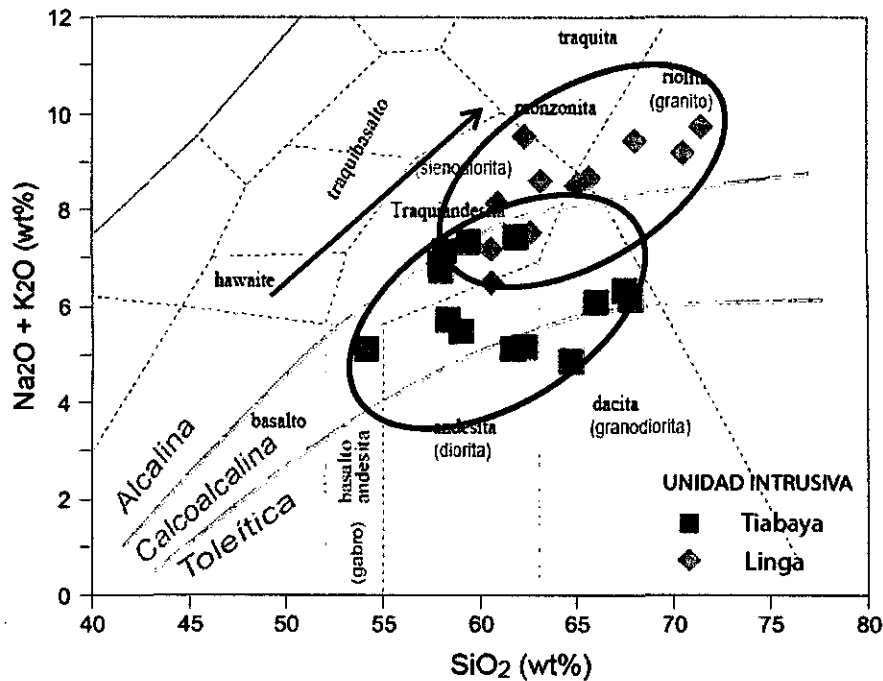


Figura 6.3 Diagrama TAS-Total Álcalis vs Sílice (Le Maitre et al, 2002)

En la figura 6.3 se han reconocido dos facies litológicas en la Superunidad Linga, una sienodiorítica y otra granítica los mismos que van según contenido de Sílice desde una composición intermedia a ácida. Algunas de estas muestras caen dentro del campo de la serie Alcalina lo que nos indica su alto contenido en Na y K y tienen una concentración de sílice de 65%. Las rocas de la Superunidad Tiabaya presentan una concentración de sílice aproximada entre 58 a 70%, reconociéndose básicamente tres grupos de rocas, una facie diorítica, otra sienodiorítica y una última facie granodiorítica que se encuentran en el campo de la serie Calcoalcálica. Es importante señalar que se observa un traslape de rocas sienodioríticas.

C. Diagrama de Índice de Saturación de Alúmina (Shand, 1968)

El siguiente componente en importancia en las rocas ígneas después de la sílice es la alúmina. Shand (1968) propuso una clasificación que involucra al Al_2O_3 y la abundancia relativa a K_2O , Na_2O y CaO , que proporciona otra base significativa para la clasificación. La relación molecular de Al_2O_3 a $Na_2O + K_2O + CaO$ es 1:1, de

modo que un exceso o carencia de Al_2O_3 con respecto a esta relación se refleja en la naturaleza de los minerales ferromagnesianos (Rivera, 2007).

Shand (1968), propuso cuatro grupos de rocas ígneas en términos de saturación de alúmina:

- a) Rocas Peralumínicas ($\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$): Son características de las rocas plutónicas con alto contenido de sílice y de las pegmatitas formadas a baja temperatura.
- b) Rocas Metalumínicas ($\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$): Son rocas que contienen minerales que se forman a temperaturas relativamente bajas en presencia de agua.
- c) Rocas Subalumínicas ($\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$): Estas rocas se forman a partir de magmas calientes y relativamente anhidros, contienen además poco o ningún exceso de alúmina.
- d) Rocas Peralcalinas ($\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$): Estas rocas provienen de las últimas etapas de la cristalización de los magmas ricos en sodio, cuando el magma residual es fuertemente alcalino.

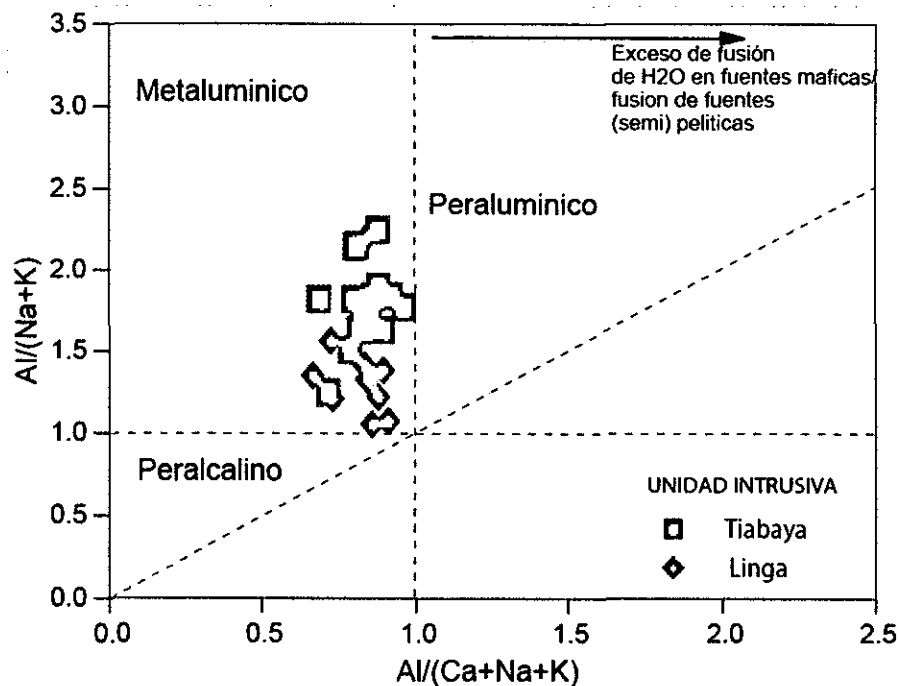


Figura 6.4 Diagrama de Índice de saturación de alúmina (Shand, 1968)

Según la figura 6.4 se puede observar que las muestras de la Superunidad Linga y de la Superunidad Tiabaya corresponden a rocas Metalumínicas lo que indica que ha habido circulación de fluidos hidrotermales en rocas (en este caso intrusivas ricas en SiO₂) cuyos minerales se forman a bajas temperaturas. Es importante mencionar que las rocas de la Superunidad Linga tienden ligeramente al límite de las rocas Peralcalinas. La presencia de turmalina en algunas muestras de esta Superunidad indica la tendencia hacia esta serie.

D. Diagrama de Cristalización de feldespatos por el Enriquecimiento de Na-K (Peccerillo & Taylor, 1976; modificado por Le Maitre, 1989)

Este diagrama muestra el enriquecimiento de feldespato potásico y las plagioclasas al comparar las abundancias entre Na₂O vs K₂O en wt%. (Quispe & Rivera, 2013). Se usa básicamente para la clasificación del ambiente y series magmáticas. Las rocas se clasifican según este diagrama en: sódicas, transicionales, potásicas y ultrapotásicas.

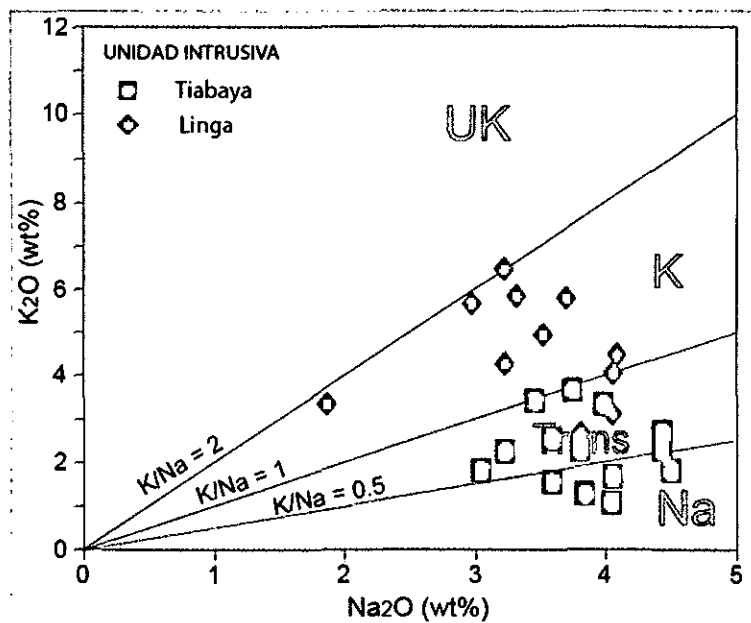


Figura 6.5 Diagrama de Cristalización de Feldespatos por el enriquecimiento de Na-K (Peccerillo & Taylor, 1976; modificado por Le Maitre, 1989)

Tal como lo podemos observar en la figura 6.5 nos indica que las rocas de la Superunidad Linga se encuentran principalmente en el rango de composición potásica, y es evidentemente confirmado puesto que en la zona de estudio (Cobrepampa) las rocas monzoníticas presentan abundante alteración potásica. Mientras que las rocas de la Superunidad Tiabaya se encuentran en el rango de composición transicional a sódica, especialmente porque presentan mayor presencia de plagioclasas.

E. Diagrama Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989):

Este diagrama SiO_2 vs K_2O muestra la subdivisión de las rocas subalcalinas en rocas de baja (toleítico), media (calcoalcalina medio K) y alto contenido de K_2O (calcoalcalina de alto K). Es usado para definir la clasificación del ambiente y series magmáticas.

Tal cual podemos observar en la figura 6.6 que nos indica que las rocas de la Superunidad Linga son de composición intermedia a acida y tienen un contenido entre medio y alto de potasio, dicho anteriormente por la presencia de alteración potásica. Las rocas de la Superunidad Tiabaya son de composición intermedia básicamente con un contenido medio a bajo de potasio.

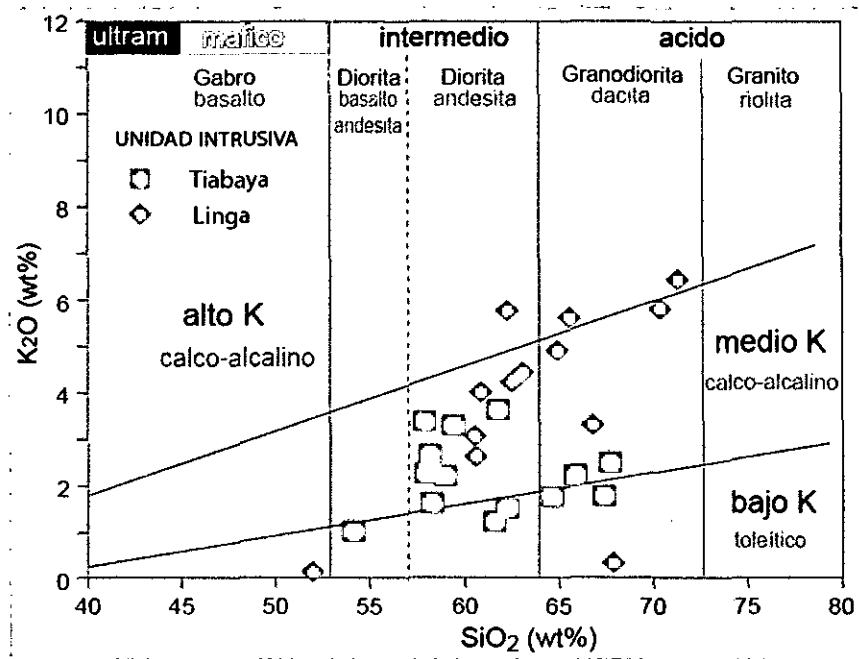


Figura 6.6 Diagrama de Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989)

F. Diagrama de 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. Para determinar que magma es más profundo con respecto a otro, se usael diagrama de correlación binaria de FeO tot vs SiO_2 (wt%).

Es importante mencionar que las rocas de la Superunidad Linga (figura 6.7) presentan un contenido medio a bajo de Fe, lo cual es normal puesto que básicamente la mineralización en la zona de Cobrepampa es de Cu, en las etapas zonadas de enriquecimiento secundario y sulfuros con algunos puntos de oxidación. En la Superunidad Tiabaya podemos observar que el contenido de Fe varía entre medio y alto puesto que la mineralización es controlada por el cuarzo aurífero y este elemento (Au) es siderófilo. Algunas muestras que tienden hacia los valores altos de Fe pueden indicar que los magmas de esta Superunidad son más profundos que los de la Superunidad Linga.

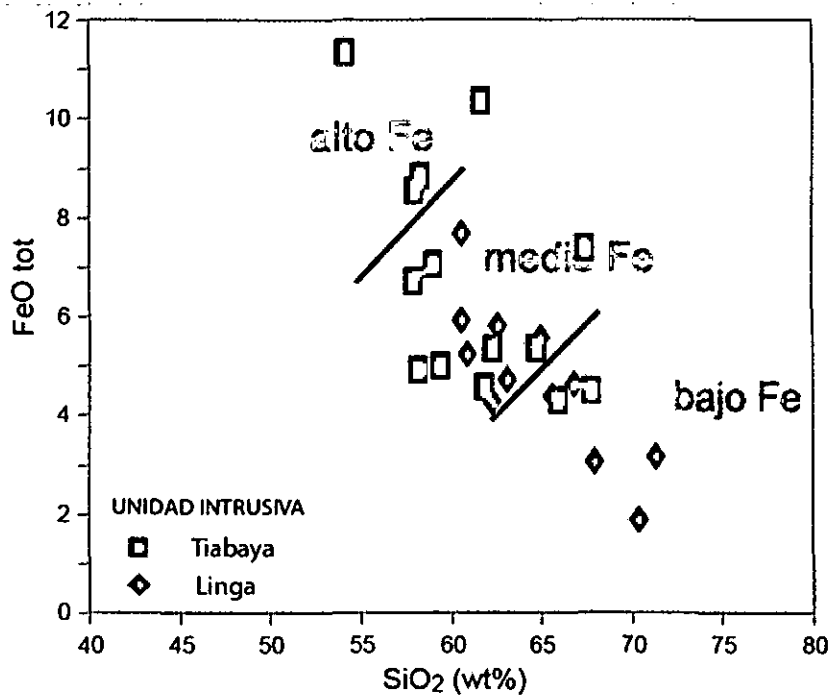
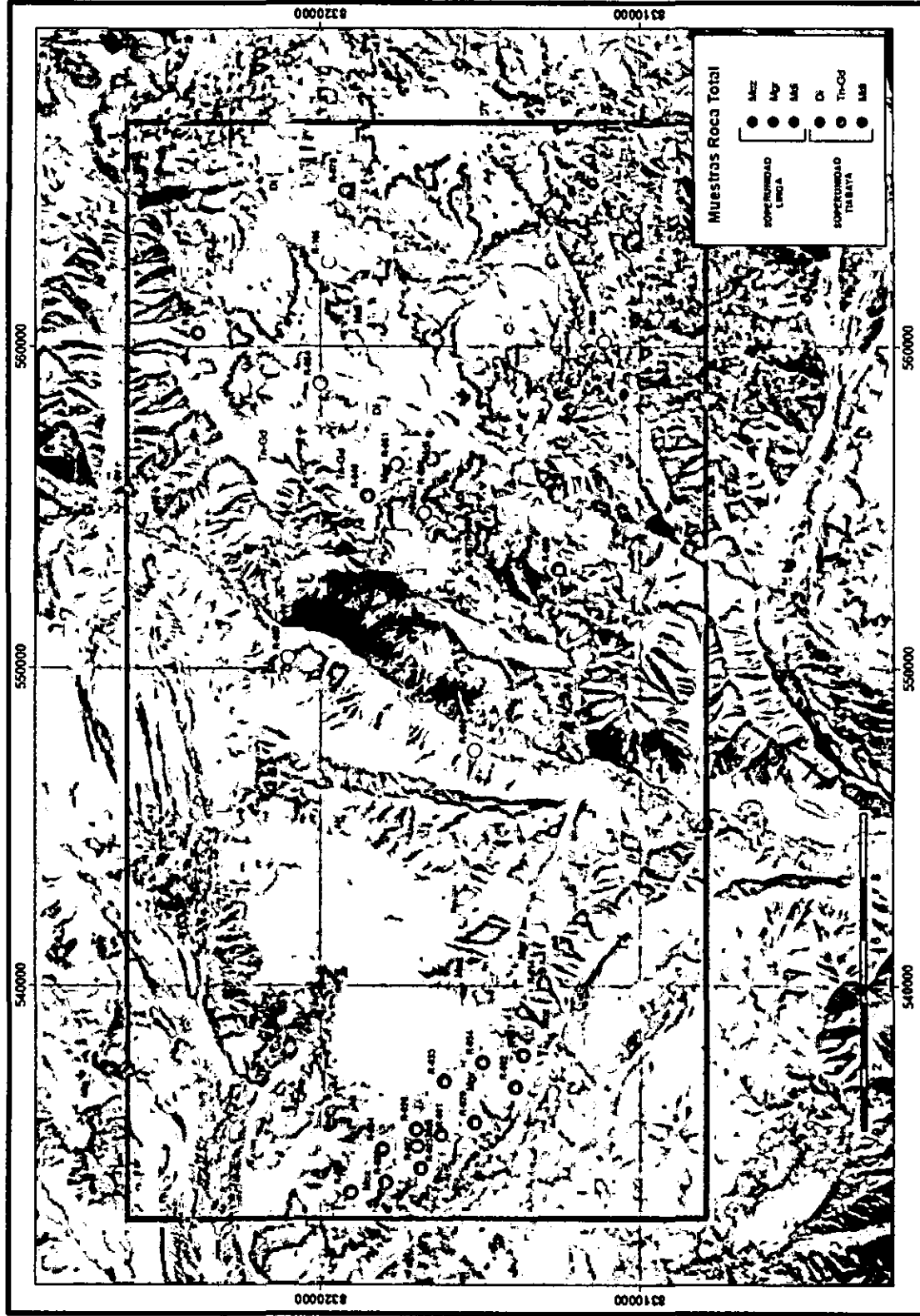


Figura 6.7 Diagrama SiO₂ vs FeO tot

Teniendo los datos petrográficos, de geoquímica y además de los datos obtenidos en el campo podemos definir entonces que la Superunidad Linga presenta tres tipos de facies litológicas: Una facie Monzodiorítica, otra facie Monzonítica con cuarzo y una última facie Monzogranítica. Las rocas de esta Superunidad son rocas de composición intermedia a ácida y pertenecen a la serie calcoalcalina con alguna tendencia a alcalina, son rocas Metalumínicas, se encuentran en el rango de composición potásica por la presencia de alteración potásica y con un contenido medio a bajo de Fe. La Superunidad Tiabaya presenta cuatro tipos de facies litológicas: Diorítica, Monzodiorítica, Tonalítica-Granodiorítica y una última facie Monzogranítica. Es importante mencionar que en esta última facie no se tiene data geoquímica, pero los datos de campo y petrográficos así lo indican por tanto se incluye dentro de estas facies. Estas rocas presentan una concentración de sílice entre 58 a 70% aproximadamente encontrándose dentro de la serie Calcoalcalinalo que las posiciona como rocas intermedias a básicas. Por su contenido de alúmina se presentan como rocas Metalumínicas y por su contenido de potasio son de composición transicional a sódica, con un contenido alto de Fe relacionado a la presencia de elementos siderófilos.



Mapa 6.1 Mapa de Distribución con la ubicación espacial de las Muestras de Roca Total del área de estudio

G. Diagramas de Harker:

Los Diagramas de variación son usados con diferentes propósitos en petrología, tienen la ventaja de ser más sencillos de interpretar, y gracias a estos se puede observar con facilidad comportamientos y tendencias petrológicas que aporten información relevante en procesos petrológicos como la cristalización fraccionada, fusión parcial o líneas de mezcla. Uno de los más conocidos son los Diagramas de Harker.

Estos diagramas son de gran utilidad en el estudio de las series de rocas con gran variación del contenido de SiO_2 . Es una representación rectangular donde las abscisas están representadas por el SiO_2 wt% y las ordenadas por los demás óxidos wt%. Nos dan una idea clara de la variación de quimismo que ocurre en un magma que da lugar a series de rocas química y mineralógicamente distintas, aunque genéticamente relacionadas. Araña (1984) indica que los diagramas de Harker nos permiten inferir los procesos geoquímicos que ocurrieron durante la evolución de los magmas. Tienen la ventaja de utilizar directamente los datos químicos, sin necesidad de hacer cálculos complicados (Rollinson, 1993). La Roche (1964) indica que estos Diagramas deben reservarse para el estudio de rocas ígneas muy diferenciadas.

SiO_2 vs TiO_2 : Las muestras presentan una correlación negativa (figura 6.8A), asociadas en su mayoría a una fraccionación en esfera, debido a que en su estructura química y mineralógica presenta valores de Ti. Rankama (1954) explica que la forma de presentación del titanio en las rocas ígneas se caracteriza por su tendencia a incorporarse a los óxidos.

Es así como las rocas de la Superunidad Linga presentan una concentración de TiO_2 entre 0.5 a 1 wt% con un aumento porcentual de sílice. La Superunidad Tiabaya presenta un contenido de TiO_2 promedio de 0.5 a 1.5 wt%, estas rocas presentan mayor contenido de Fe lo cual explica su tendencia porcentual hacia los valores más altos. En las rocas calcoalcalinas, el titanio se concentra de forma definida en los primeros productos del estadio principal de la cristalización (Rankama, 1954).

SiO_2 vs Al_2O_3 : La Alúmina varía entre 10 y 20% (Rivera, 2007), en la figura 6.8B, las muestras presentan correlación negativa donde se produce la fraccionación de las plagioclasas, las que pertenecen a la Superunidad Tiabaya se encuentran más dispersas con contenidos variables cuya concentración está entre 11 a 19 wt% y las de la Superunidad Linga más concentradas entre 13 a 17 wt%. La concentración media de Al_2O_3 indica que las rocas presentes son de composición intermedia básicamente.

SiO_2 vs MnO: La figura 6.8C indica la fraccionación de feldespatos de las rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya que muestra una correlación negativa. El Manganeseo se encuentra asociado al Fe en sus propiedades químicas (Rankama, 1954) lo que evidencia para la Superunidad Tiabaya un mayor contenido de MnO (0.06 a 0.21 wt%) a diferencia de la Superunidad Tiabaya que presenta una concentración de 0.04 a 0.12 wt%.

SiO_2 vs MgO: La mayoría de las rocas presentan un nivel bajo en MgO (figura 6.8D) y en consecuencia son menores al 20% (Rivera, 2007). Se nota una correlación negativa respecto al contenido de SiO_2 , en donde las muestras de la Superunidad Linga tienen un contenido promedio de MgO de 1.5 wt% y las muestras de la Superunidad Tiabaya presentan un contenido promedio de 3 wt%. Rankama (1954) indica que el magnesio junto con el hierro ferroso, es el catión más importante que se incorpora a los minerales máficos durante el estadio principal de la cristalización, es por esta razón que lo encontramos en mayor porcentaje en las rocas de la Superunidad Tiabaya.

SiO_2 vs CaO: Se puede observar en la figura 6.8E que las rocas se encuentran básicamente dentro de la etapa de cristalización de plagioclasas presentando las mismas una correlación negativa. Clarke (1924) refiere que la mayor cantidad de Calcio se encuentra en los componentes básicos y en menor cantidad en los ácidos. Las rocas de la Superunidad Linga presentan un contenido promedio de CaO de 5 wt% mientras que las rocas de la Superunidad Tiabaya presentan entre 5 a 7 wt%.

SiO₂ vs Na₂O: Este óxido presenta una correlación lineal positiva, los valores en la Superunidad Linga se encuentran en el promedio de 3.5 wt%. Para la Superunidad Tiabaya existen concentraciones de Na₂O de 4 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 sino más bien en el proceso de cristalización de las plagioclasas (Choquehuanca, 2014). La abundante presencia de Na₂O puede deberse básicamente a la presencia de alteraciones hidrotermales en el sistema mineralógico.(Figura 6.8F)

6.2.2. ELEMENTOS TRAZA

Son los elementos que se encuentran en muy baja concentración, en general, por debajo del 1% o 10 000 ppm. Están demasiado diluidos como para formar fases separadas, lo cual hace que actúen sustituyendo a los elementos mayores en las estructuras mineralizadas. El estudio de los elementos traza actualmente es bastante usado en la petrología moderna puesto que permite la discriminación entre procesos petrológicos de los elementos mayores (Rollinson, 1993).

La concentración y distribución de los Elementos Trazas pueden ser utilizados para estudiar la evolución de los magmas, ayudando a establecer el origen de los magmas y para discriminar procesos magmáticos. Los elementos Li, Sc, 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.

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, 1993; White, 2007).

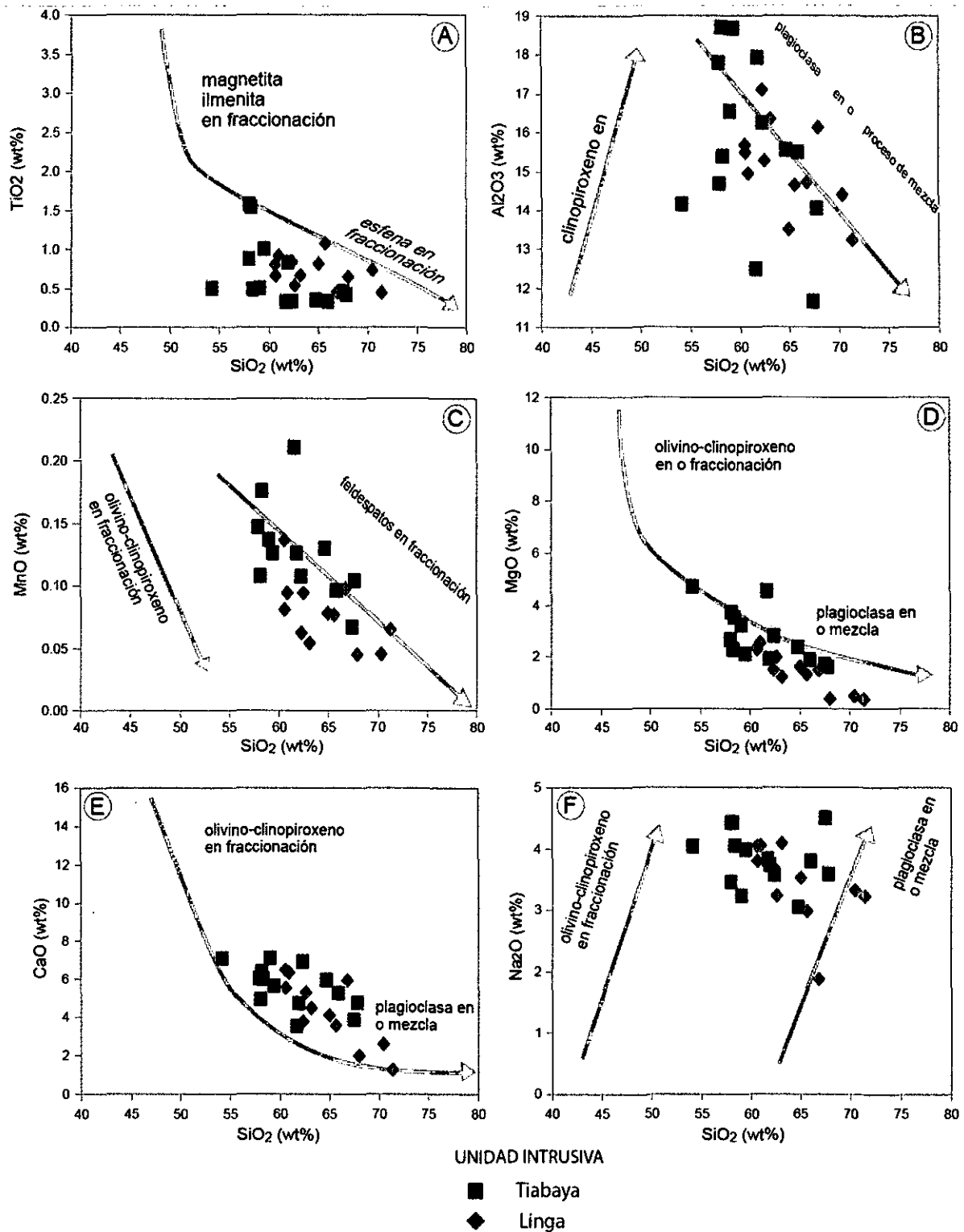


Figura 6.8 Diagramas de Harker para la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya

TIERRAS RARAS (REE)

Las tierras raras son los óxidos básicos de los elementos del grupo de los Lantánidos. Comprenden un grupo de 15 elementos: Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Prometio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disproσιο (Dy), Holmio (Ho), Erbio (Er), Tulio (Tm), Iterbio (Yb) y Lutecio (Lu). Sus números atómicos varían desde el $z=57$ hasta el $z=71$ (Rollinson, 1993). Son por tanto elementos químicos ampliamente usados en los estudios petrogenéticos, por ser excelentes indicadores de los procesos geológicos que han ocurrido durante la formación de las rocas.

De acuerdo a United States Geological Survey, las Tierras Raras comprenden Y (39), y La-Lu (57 a 71), otros autores consideran junto a este grupo a los actínidos (especialmente el Th (90), U (92)) y Sc (21). Según sus propiedades las tierras raras se dividen en tres subgrupos:

- **Tierras Raras Ligeras (LREE):** Formado por la serie del lantano (57) al samario (62).
- **Tierras Raras Intermedias (MREE):** Conformadas por el europio (63), gadolinio (64) y terbio (65).
- **Tierras Raras Pesadas (HREE):** Lo integra la serie del disprosio (66) al lutecio (71).

El comportamiento de las Tierras Raras es litófilo, por lo que comúnmente se presentan formando sales oxigenadas, principalmente flúor carbonatos y fosfatos en asociación con silicatos. Además de esto las Tierras Raras tienden a concentrarse en la fase fundida que resulta de la fusión parcial del manto, permaneciendo durante la cristalización fraccionada de un magma (Vasquez, 2009).

Fernández & Hernández (1991) indican que las abundancias relativas de las Tierras Raras entre sí (que se ponen de manifiesto en una presentación normalizada a las condritas) deben permanecer inalteradas por la fusión parcial o por otros procesos. Los únicos procesos que pueden alterar esta proporción son el reparto diferencial de Tierras Raras entre el fundido y los minerales del manto, es decir el coeficiente de partición D (Mineral /Fundido).

Una de las causas que condiciona el valor D (Mineral/Fundido), es decir la entrada de Tierras Raras en las redes minerales es su radio iónico (R.I). Las tierras raras livianas que tienen mayor radio iónico se introducen en los feldespatos y el apatito, así como en la esfena donde hay una fuerte concentración porque fracciona fuertemente las Tierras Raras Pesadas. Además del apatito y la esfena también el circón puede fraccionar fuertemente las Tierras Raras en los líquidos evolucionados. El granate admite en su red las Tierras Raras Pesadas que tiene un radio iónico relativamente menor, pero no admite las Tierras Raras Livianas que quedan relativamente concentrados en el fundido (Vásquez, 2009).

Número Atómico	Nombre	Configuración	Radio iónicos de diferente número de coordinación (nm)				Electro-Negatividad	N° de oxidación		Peso Atómico (g)	Tipo	
			VI	VII	VIII	IX						
57	Lantano (La)	(Xe)5d ¹ 6s ²	10.32	11.00	11.60	12.16	1.10	3	-	138.905	LIVIANAS	LIVIANAS
58	Ceio (Ce)	(Xe)4f ² 6s ²	10.10	10.70	11.43	11.96	1.12	3	4	140.120		
59	Praseodimio (Pr)	(Xe)4f ³ 6s ²	9.90	-	11.26	11.79	1.10	3	-	140.908		
60	Neodimio (Nd)	(Xe)4f ⁴ 6s ²	9.83	-	11.09	11.63	1.20	3	-	144.240		
61	Promecio (Pm)	(Xe)4f ⁵ 6s ²	-	-	-	-	-	3	-	-		
62	Samario (Sm)	(Xe)4f ⁶ 6s ²	9.58	10.20	10.79	11.32	1.10	3	-	150.400	MEDIANAS	PESADA
63	Europio (Eu)	(Xe)4f ⁷ 6s ²	9.47	10.10	10.66	11.20	1.00	3	2	151.960		
64	Gadolinio (Gd)	(Xe)4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	9.38	10.00	10.53	11.07	1.10	3	-	157.250		
65	Terbio (Tb)	(Xe)4f ⁹ 6s ²	9.23	9.80	10.40	10.95	1.20	3	-	158.925		
66	Diprosio (Dy)	(Xe)4f ¹⁰ 6s ²	9.12	9.70	10.27	10.83	1.10	3	-	162.500		
67	Holmio (Ho)	(Xe)4f ¹¹ 6s ²	9.01	-	10.15	10.72	1.20	3	-	164.930	PESADAS	PESADA
68	Erbio (Er)	(Xe)4f ¹² 6s ²	8.90	9.45	10.04	10.62	1.20	3	-	167.260		
69	Tulio (Tm)	(Xe)4f ¹³ 6s ²	8.80	-	9.94	10.52	1.20	3	-	168.934		
70	Iterbio (Yb)	(Xe)4f ¹⁴ 6s ²	8.68	9.25	9.85	10.42	1.10	3	-	173.040		
71	Lutecio (Lu)	(Xe)4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	8.61	-	9.77	10.32	1.20	3	-	174.967		
39	Itrio (Y)	(Kr)4d ¹ 5s ²	9.00	9.60	10.19	10.75	1.20	3	-	88.906		
Henderson P. (1996)							Rivera H. (2001)				Samson I. et al. (2005)	

Cuadro 6.1 Características químicas de las Tierras Raras (Tomado de Vásquez, 2009)

Se supone que las abundancias de las Tierras Raras en los meteoritos condritos, que representan el material primitivo del Sistema Solar, deben ser iguales a las que habían en la Tierra primitiva. Estas abundancias se habrían enriquecido por igual después de la diferenciación primordial núcleo-manto y posteriormente cualquier fusión parcial del manto tendría como consecuencia un marcado aumento de la concentración de las tierras raras en la fracción fundida, como ocurre con todos los elementos incompatibles, siendo la concentración tanto mayor cuando menos sea la proporción del fundido (Rivera, 2007).

ELEMENTOS COMPATIBLES E INCOMPATIBLES

De manera generalizada, los elementos de Alto Potencial Iónico (HFSE o High Field Strength Elements) se caracterizan por poseer un pequeño radio iónico y una alta carga que los hace altamente incompatibles en la mayoría de las fases minerales. Estas son las tierras raras Th, Y, Zr, Hf, Nb y Ta (Pearce, 1983). Estos elementos son inmóviles. Los elementos de baja carga y gran radio iónico (LILE o Large Lithophile Elements) incluyen al Cs, K, Ba, Sr y Rb caracterizándose por poseer un gran radio iónico y una baja carga, lo que los hace altamente móviles e incompatibles.

Los elementos traza compatibles con radio iónico pequeño y baja carga como el Cr, Ni, Co, V son inmóviles y 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, 1994; White, 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.

La distribución de los elementos traza entre las fases puede ser descrita por el coeficiente de distribución o también llamado coeficiente de partición. El coeficiente de distribución Nernst es usado extensamente en la geoquímica de los elementos traza, describe la distribución en equilibrio entre un mineral y el magma remanente (fundido). El coeficiente de distribución es definido por:

$$K_d = [C_{\text{mineral}} / C_{\text{fundido}}]_{\text{elemento}}$$

Dónde: K_d es el coeficiente de distribución de Nernst; C es la concentración del elemento traza expresada en ppm o en % en peso tanto del mineral como del fundido. Un coeficiente de distribución mineral/fundido de 1.0 indica que el elemento se distribuye equitativamente tanto en el mineral como en el fundido. Un valor mayor a 1.0 indica que el elemento tiene preferencia por la fase mineral por lo que se le denomina como elemento compatible. Valor menor a 1.0 implica que el elemento traza tiene preferencia por el fundido y es un elemento incompatible.

La concentración de los elementos traza en el sistema solar es variable debido a ello presentan un patrón zigzagueante, para eliminar el patrón zigzagueante se recurre a la normalización con respecto a un patrón y de esa manera podemos identificar el grado relativo de fraccionamiento.

Los diagramas de elementos incompatibles, diagramas multielementales normalizados, son comúnmente llamados diagramas spider y están basados en un grupo de elementos incompatibles con respecto a la mineralogía del manto. Existen tres maneras de normalizar la concentración de los elementos traza. (1) Con respecto al manto primitivo. (2) Meteorito condrito. (3) MORB. Los valores y razones de valores normalizados son denotados por el subíndice "n". Ej.: (La/Sm) n. (Rollinson, 1993).

Mineral	E. Mayores	Nº Coordinación	Elementos Trazas
Feldespatos	Ca, Na, K Al, Si	6-9 4	Ba, Eu, Pb, Rb, Sr Ge
Olivino	Mg, Fe Si	6 4	Co, Cr, Mn, Ni Ge
Clino Piroxenos	Ca, Na Mg, Fe Si	8 6 4	Ce, La, Mn, Co, Cr, Ni, Sc, V Ge
Micas	K Al, Mg, Fe Si, Al	12 6 4	Ba, Cs, Rb Co, Cr, Li, Mn, Sc, V, Zn Ge
Apatito	Ca P	7-9 4	Ce, La, Mn, Sr, Th, U, Y As, S, V
Zircón	Zr Si	8 4	Ce, Hf, La, Lu, Th, Y, Yb P

Cuadro 6.2 Elementos Mayores y Trazas que se concentran comúnmente en algunos minerales

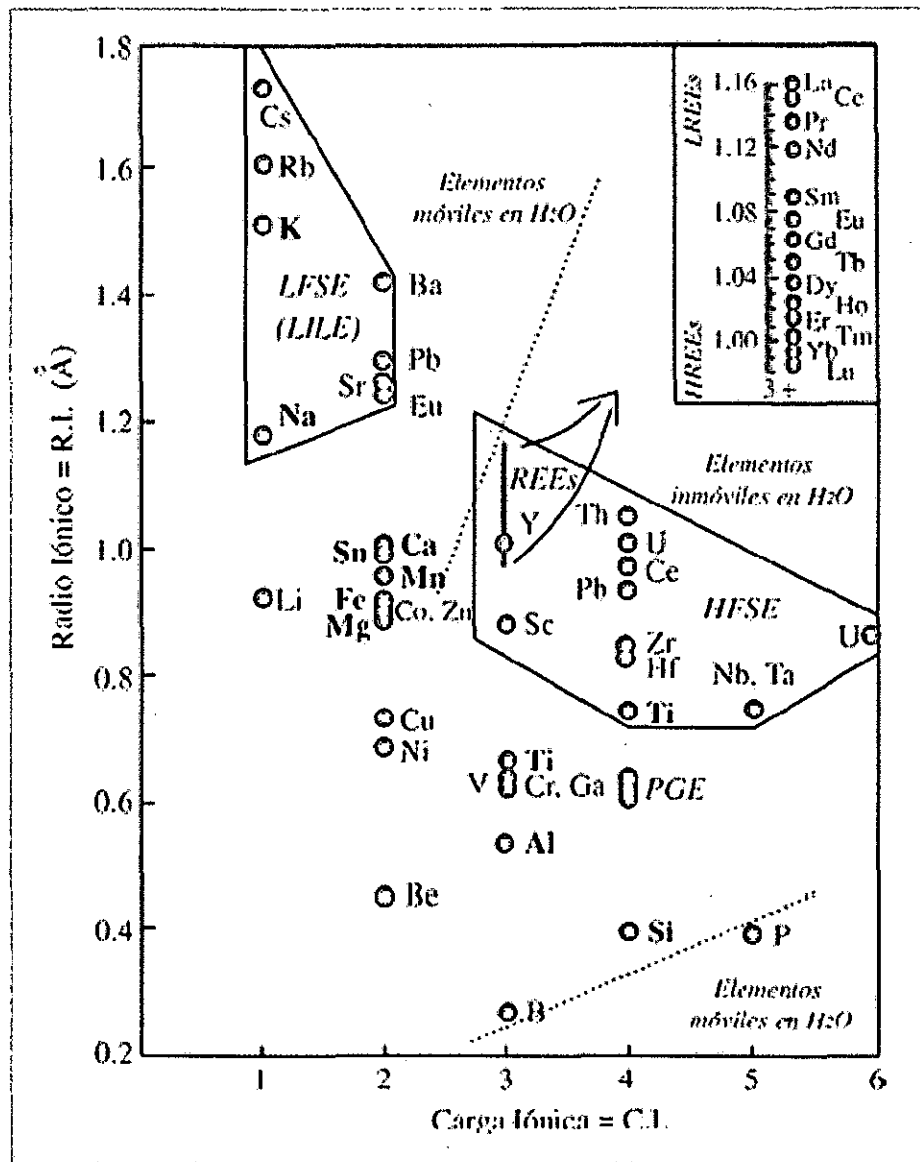


Figura 6.9 Diagrama de clasificación de carga iónica positiva vs el radio iónico de elementos mayores (resaltado) y elementos traza (Rollinson, 1993). Elementos de tierras raras (REE), en el centro del diagrama son ploteados en una escala expandida en la parte superior derecha. De acuerdo al potencial 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.

A. Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb

Con este diagrama se confrontan las abundancias en ppm de los elementos traza Nb vs Y plotado en escala logarítmica, con el fin de determinar el origen de las rocas ígneas si son de origen de arco volcánico, de intraplacas y de dorsal oceánica (Quispe & Rivera, 2013). Cabe resaltar que como referencia teórica de acuerdo al engrosamiento cortical y presión litosférica se determinó que se distinguen dos grupos:

- Valores altos en Nb, indican el grupo de las rocas que afloran hacia el oeste del área y están menos contaminadas.
- Valores bajos en Nb, indican que el grupo de rocas que afloran hacia el este del área están más contaminados.

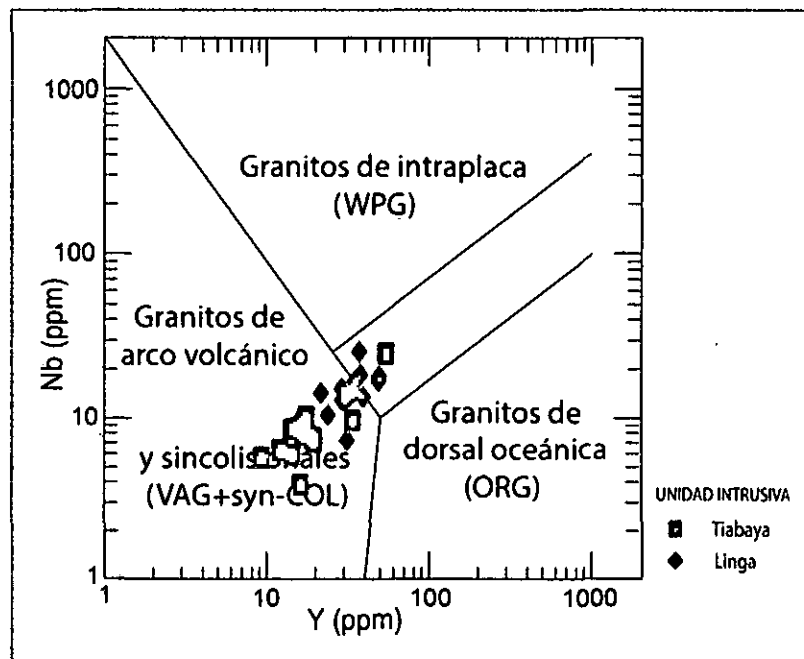


Figura 6.10 Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb

Se confirma que las rocas estudiadas de la Superunidad Linga y Tiabaya proceden de los granitos de los arcos volcánicos de los Andes.

B. Diagrama de variación Rb vs V

A través de este diagrama podemos determinar los diferentes procesos magmáticos y petrogenéticos que han ocurrido en estas dos Superunidades. Este diagrama es a escala logarítmica y representa las concentraciones de un elemento compatible respecto al más incompatible, se usa principalmente para diferenciar entre un proceso de cristalización fraccionada o fusión parcial. Fernández & Hernández (1991) indican que algunos autores usan elementos como Ti, Zr, Y, Nb, etc. porque estos aparecen en proporciones diferentes en las distintas series volcánicas.

Podemos observar entonces (figura 6.11) que las muestras se encuentran en tendencia al proceso de Fusión Parcial para la Superunidad Linga y Cristalización Fraccionada para la Superunidad Tiabaya. Schiebold (1931) indica que el rubidio se encuentra casi siempre en los feldespatos potásicos, he de allí que podemos inferir porque presenta la tendencia horizontal positiva en ppm (en aumento). El vanadio (V) varía sus concentraciones entre 100 a 250 ppm para la Superunidad Linga y entre 40 a 300 ppm para la Superunidad Tiabaya, mientras que para el rubidio(Rb) las concentraciones varían entre 20 a 80 ppm y entre 25 a 190 ppm para la Superunidad Linga y Tiabaya respectivamente.

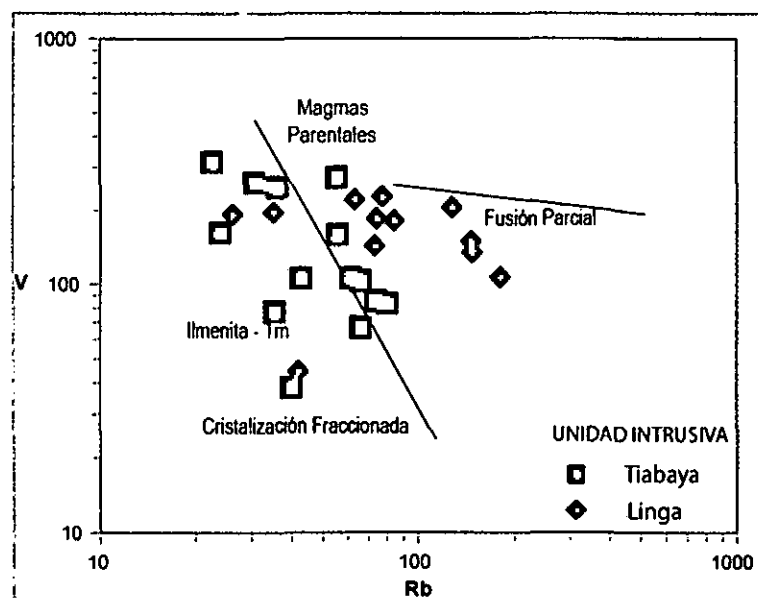


Figura 6.11 Diagrama de variación Rb vs V

C. Diagrama de variación V vs Zr

Este diagrama nos permite determinar de la misma manera en el diagrama Rb vs V los diferentes procesos magmáticos y petrogenéticos que han ocurrido en la Superunidad Linga y Tiabaya. En este diagrama usamos los valores en ppm sin normalizar. La figura 6.12 indica la tendencia de las muestras hacia el proceso de Cristalización fraccionada con valores promedios de Zr que varía entre 150 a 600 ppm y 150 ppm para la Superunidad Linga y Tiabaya respectivamente.

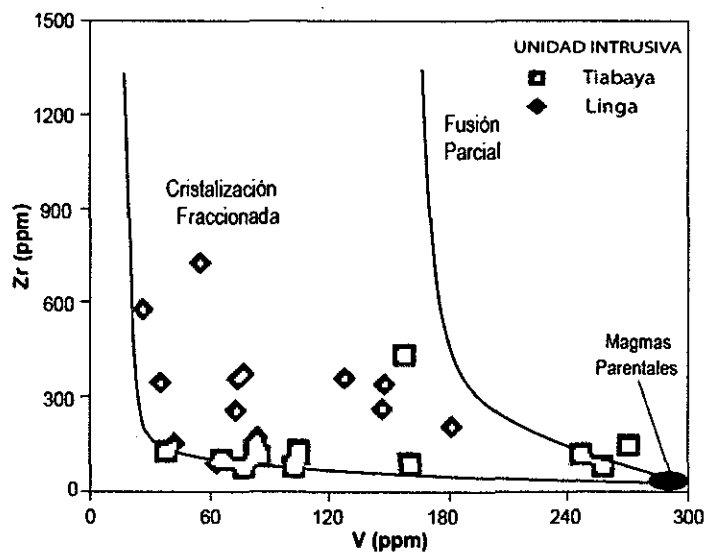


Figura 6.12 Diagrama de variación V vs Zr

D. Diagramas de Razones de Elementos Traza

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 intrusivas de la Superunidad Linga y Superunidad Tiabaya.

Podemos observar en la figura 6.13 la distribución de las concentraciones de elementos traza en base a las razones de Sr/Y, Sm/Yb, Dy/Yb vs SiO₂ (Mamani et al,

2010). La Superunidad Linga presenta concentraciones de Sr/Y de 10 wt% con un aumento diferencial de SiO₂ paulatino, mientras que las rocas de la Superunidad Tiabaya presentan un incremento gradual de Sr/Y desde 10 a 45 wt%, lo que indica la presencia de granate residual debido al aumento de presión (figura 6.13A).

La razón SiO₂vs La/Sm muestra que las Rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya son rocas diferenciadas y presentan valores altos de La/Sm, para la Superunidad Linga existe una concentración de La/Sm entre 2 a 7 wt% y de SiO₂ entre 60 a 73 wt% y para la Superunidad Tiabaya existe una concentración de La/Sm entre 2.5 a 8 wt% y de SiO₂ entre 55 a 69 wt%. Las muestras están siendo afectadas por la fraccionación de plagioclasas (figura 6.13B). Respecto a la razón SiO₂vs Sm/Yb presentan valores bajos que indican la fraccionación de clinopiroxenos. La Superunidad Linga y Tiabaya presentan concentraciones de Sm/Yb de 2 wt%. Ocurre tal como se observa una diferenciación de SiO₂ para ambas Superunidades que van desde 55 a 70% (figura 7.13C)

En la figura 6.13D podemos observar que existe una pequeña tendencia hacia el aumento de granate. Las muestras de la Superunidad Unidad Linga presentan un contenido promedio de 1.7 wt% de Dy/Yb, mientras que las para la Superunidad Tiabaya el rango es de 1.3 a 2 wt%.

- **Diagrama de Profundidad de Generación del Magma (Mantle & Collins, 2008):** A través de este diagrama se puede determinar la profundidad en una columna cortical en la que se han generado los magmas.

Es así como las rocas de la Superunidad Linga presentan razones de 0.5 a 3 de Ce/Y, estos valores indican que los magmas se han formado en una corteza con espesor de 40 a 20 Km de profundidad, mientras que las rocas de la Superunidad Tiabaya valores de 1 a 5 entre 50 a 20 Km de profundidad (figura 6.14)

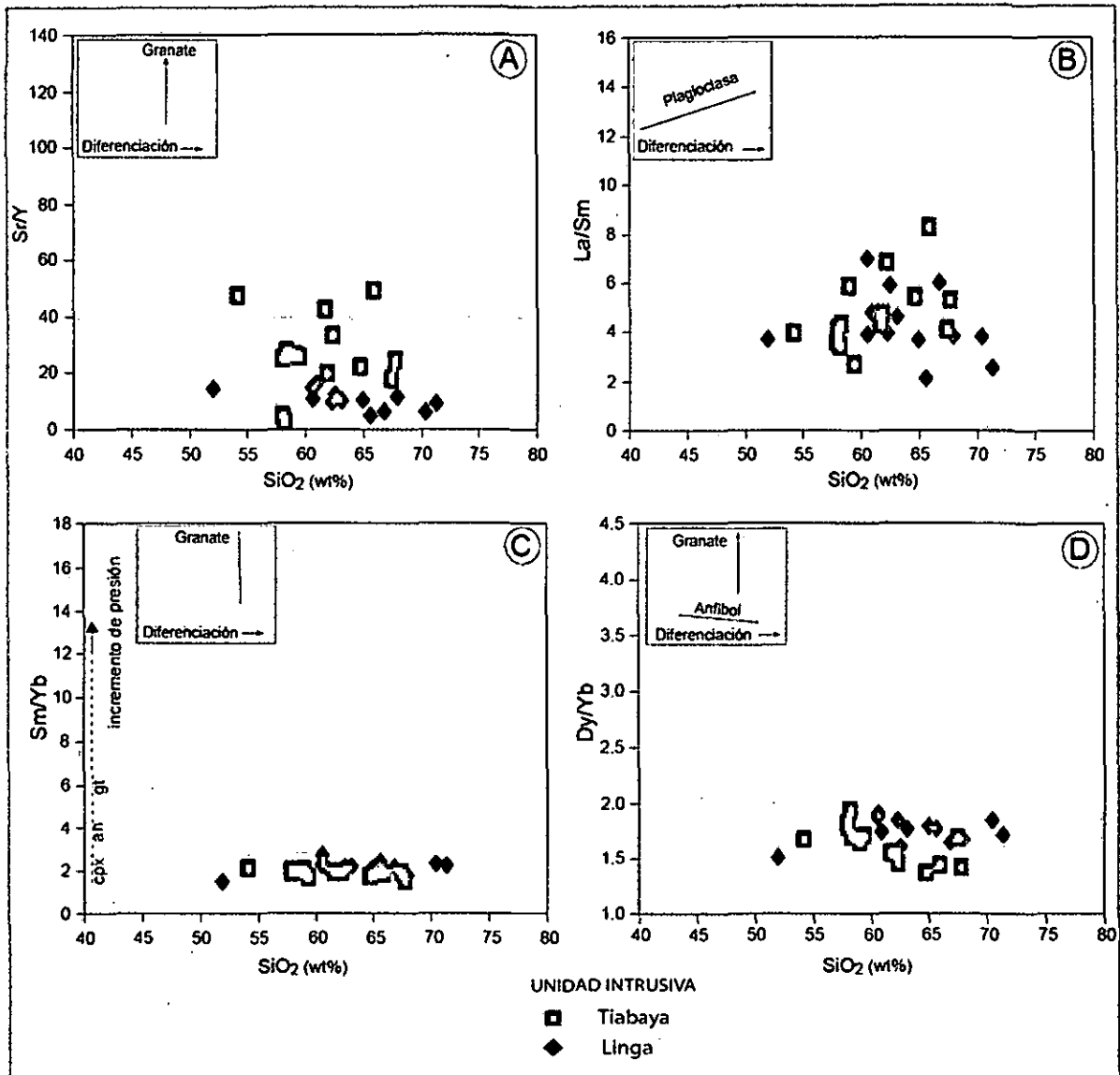


Figura 6.13 Diagramas de razones de Elementos Traza Sr/Y, La/Sm, Sm/Yb, Dy/Yb (Mamani et al, 2010) de la Superunidad Linga y Tiabaya

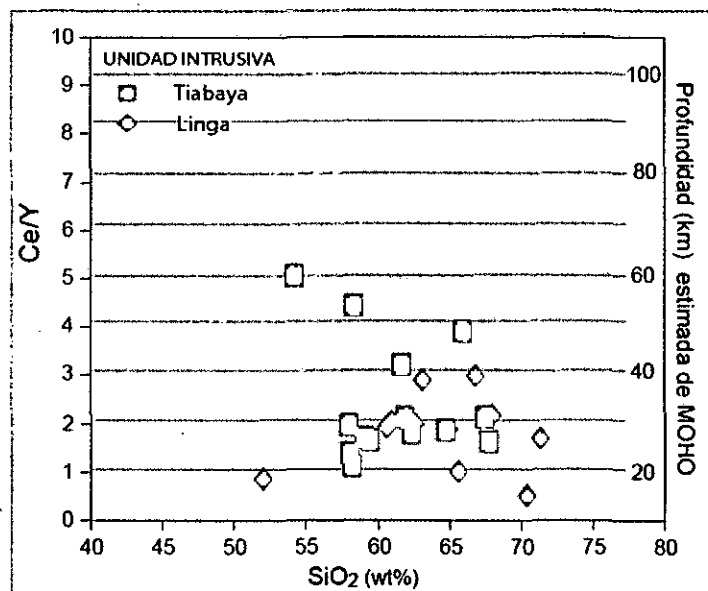


Figura 6.14 Diagrama de Profundidad de Generación del Magma (Mantle & Collins, 2008)

E. Diagramas de Concentración de Tierras Raras

Las concentraciones de REE definen los procesos petrogenéticos internos que han pasado los magmas para llegar a formar las rocas intrusivas de la Superunidad Linga y Tiabaya.

Para mostrar de un modo gráfico las abundancias de las Tierras Raras se proyectan en un diagrama binario donde las abscisas son las Tierras Raras y las ordenadas sus valores en ppm. Es importante señalar que para evitar el efecto Oddo-Harkings (los elementos del número atómico par son más abundantes que los contiguos de número atómico impar) se normalizan las abundancias de las Tierras Raras en las rocas a las que se presentan en las condritas (meteoritos). Esto es posible dividiendo ambos valores (Fernández & Hernández, 1991).

Se emplean los diagramas “Tela de Araña” o “spiderdiagram” normalizados a las abundancias condriticas (Rivera, 2007). Esta normalización condritica tiene dos funciones, en primer lugar elimina la variación de la abundancia entre los elementos de números pares e impares atómicos y en segundo lugar permite cualquier

fraccionamiento del grupo de las REE en relación con los meteoritos condriticos para poder ser identificados (Rollinson, 1993).

Hay Tres formas populares de la normalización de los datos de elementos traza para su presentación como “diagramas de araña”:

- **Composición del Manto Primitivo (Diagrama Multielemental-LILE/HFSE):**
El Manto Primitivo es la composición de la capa antes de la corteza continental formada. En este diagrama diecinueve elementos están dispuestos en orden de aumentar la compatibilidad con respecto a un pequeño porcentaje de la masa fundida del manto (Rollinson, 1993).
- **Meteoritos Condriticos (Tierras raras ligeras y pesadas LREE y HREE):**
Thompson (1982) propuso que la normalización a valores condriticos puede ser preferible a la composición del manto puesto que los valores condriticos son directamente medidos en lugar que lo estimado. Las discrepancias entre los valores de este diagrama surgen debido a que algunos autores han utilizado una mezcla de condritos y valores primordiales del manto (Rollinson, 1993).
- **MORB primitivo:** Es muy útil para la comparación de elementos traza característicos de diferentes tipos de basaltos.

Diagrama de Composición del Manto Primitivo-Diagrama Multielemental

Este diagrama nos muestra una secuencia de elementos trazas normalizadas según los valores de Manto Primitivo (McDonough & Sun, 1995).

En la figura 6.15 podemos reconocer dos tipos de curvas tendenciales, de la Superunidad Linga y de la Superunidad Tiabaya, se observa un enriquecimiento en los elementos móviles LILE y empobrecimiento en los elementos inmóviles HFSE. El diagrama presenta inflexiones espurias que conllevan a errores analíticos. Por lo que estos valores al ser descartados proporcionan una información petrogenética muy valiosa relativa al equilibrio cristal-líquido (Fernández & Hernández, 1991).

La Superunidad Linga presenta valores de LILE muy altos (30 a 1000) y bajos en HFSE (10 o <10) mientras que para la Superunidad Tiabaya los valores del LILE entre 20 a 100 y del HFSE son menores a 10 (<10).

Cabe mencionar que existen variaciones de anomalías para estas Superunidades. La Superunidad Linga presenta anomalías negativas de Eu, Sr, Nb, Ta y Ba; mientras que las anomalías positivas se concentran en el Zr, K, Th, U y Rb. La Superunidad Tiabaya presenta anomalías negativas de Nb, Ta y Ba; mientras que las positivas se concentran en el Sr, U y Th. El Eu no presenta anomalías. Las anomalías negativas de Nb asociada a Ta y positivas en Pb, K, Rb, Th y U nos indican típico marco tectónico de subducción (Martínez & Cervantes, 2003). Wilson & Winter (2001) indican que los valores de Nb mayores a 1 (>1) evidencian contaminación cortical en los procesos magmáticos. De la misma manera se observa que existe la tendencia de variación en el Sr y Ba; estos elementos están asociados al K, el estroncio se encuentra tanto en las plagioclasas como en los feldespatos potásicos, pero solamente en el Ba los feldespáticos potásicos se encuentran en cantidades significativas (Rankama, 1954). La anomalía negativa de Sr es típico de magmas de arco (Vatin Perignon et al, 1996) refleja además la importancia de la plagioclasa durante la diferenciación.

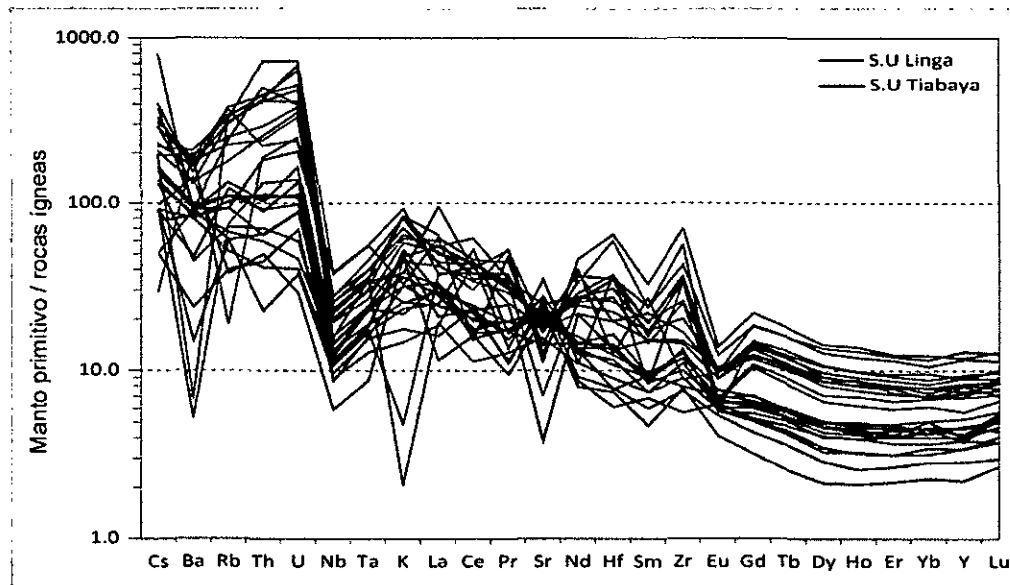


Figura 6.15 Diagrama de Manto Primitivo-Multi-elemental (McDonough & Sun, 1995)

Diagrama de Normalización de Condritos-Diagrama de Tierras Raras

El patrón usado para la normalización fue un condrito a partir de Datos de McDonough & Sun (1989).

En la figura 6.16 podemos observar que una de las características significativas es la pendiente que presentan la Superunidad Linga y Tiabaya, donde las líneas de concentración son subparalelas. Se puede apreciar un enriquecimiento de las tierras raras ligeras LREE (La, Ce, Pr, Nd y Sm) y empobrecimiento de las tierras raras pesadas HREE (Eu, Gd, Tb y Dy). El Subparalelismo indica la importancia del proceso de cristalización fraccionada en la evolución de los magmas (Martínez & Cervantes, 2003).

La Superunidad Linga presenta rangos entre 100 a 20 (líneas de concentración) con un alto enriquecimiento de tierras raras ligeras LREE. La disminución absoluta o relativa de algún elemento específico significa el fraccionamiento de las fases en las cuales puede haberse acumulado (Rivera, 2007). Es así que se puede observar que existe una anomalía negativa de Eu, lo que indica que se dio la cristalización de plagioclasas y ha llegado un magma residual empobrecido en Eu (Fernández & Hernández, 1991). La Superunidad Tiabaya presenta líneas de concentración básicamente mayores e iguales a 10, algunas de las mismas se encuentran por debajo de esta línea lo cual sugeriría que el empobrecimiento de las HREE es debido a la presencia de granate residual en la fuente (Rollinson, 1993) lo que indica poco fraccionamiento del magma para esas muestras (Martínez y Cervantes, 2003). No existe anomalías de Eu, lo que podría indicar que este elemento no puede ser incorporado en la plagioclasa y puede reflejar fuertes condiciones de oxidación en la región de la fuente mantélica (Fernández & Hernández, 1991).

Tal como se observa en la figura existe una variabilidad en la anomalía de Cerio tanto positiva como negativa, esto se debe básicamente a que es un elemento altamente oxidante (Fernández & Hernández, 1991).

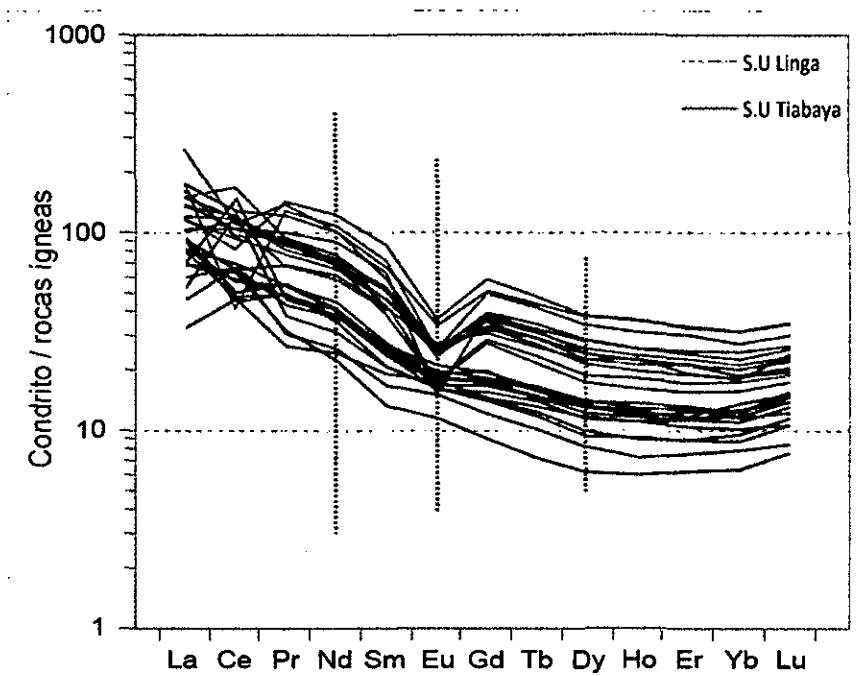


Figura 6.16 Diagrama de Tierras Raras (McDonough & Sun, 1989)

F. Ocurrencia de Minerales relacionado a la Geoquímica de Rocas

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 figura 6.17 muestra la razón Ce vs Ce/Y (elemento compatible con un elemento incompatible), teniendo en cuenta que el Y actúa como elemento inmóvil en agua

(Choquehuanca, 2014), se indica que las muestras de la Superunidad Linga proceden básicamente de la Cristalización fraccionada con alguna tendencia hacia la fusión de eclogita, teniendo como mineral residual al granate.

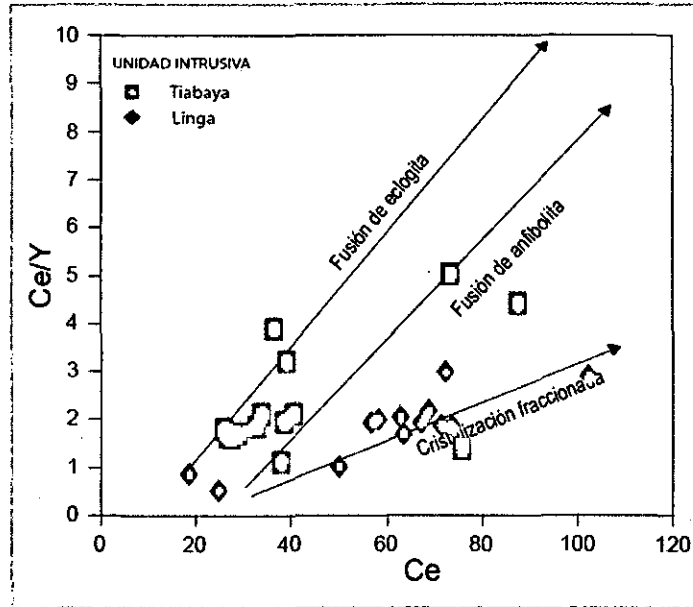


Figura 6.17 Diagrama de Proveniencia del Magma Ce vs Ce/Y

El Diagrama de anomalías Sr/Y vs Eu/Eu* (figura 6.18) sirve de la misma manera para la identificación de procesos y la historia del fraccionamiento del magma, es así que para la Superunidad Linga se presentan valores menores a 1 (<1) en razón al contenido de Eu/Eu* con tendencia a la fraccionación de plagioclasas. Las muestras de la Superunidad Tiabaya presentan en su mayoría tendencia hacia el fraccionamiento de horblenda y plagioclasa en transición con algunas muestras hacia la fase de granate. Se ve por tanto que las muestras están en el rango de Magmas húmedos que son favorables a la mineralización, con excepción de algunas muestras (tonalitas-granodioritas) que se encuentran en el rango de magmas secos. El Diagrama de tipo de Magma Al/(Ca+Na+K) vs Eu/Eu* (figura 6.19) indica de la misma manera que las muestras de la Superunidad Linga y Tiabaya son rocas Metalumínicas con tendencia a la cristalización de plagioclasas cuyos magmas son húmedos y son favorables a la mineralización con algunas muestras que tienden

hacia la zona de magmas secos que no intervienen y no son propicios para la mineralización.

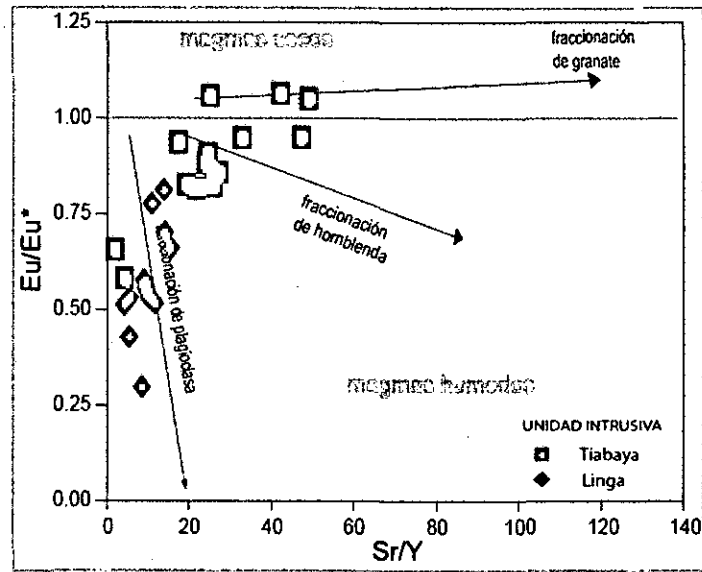


Figura 6.18 Diagrama de Tipo de Magma Sr/Y vs Eu/Eu^*

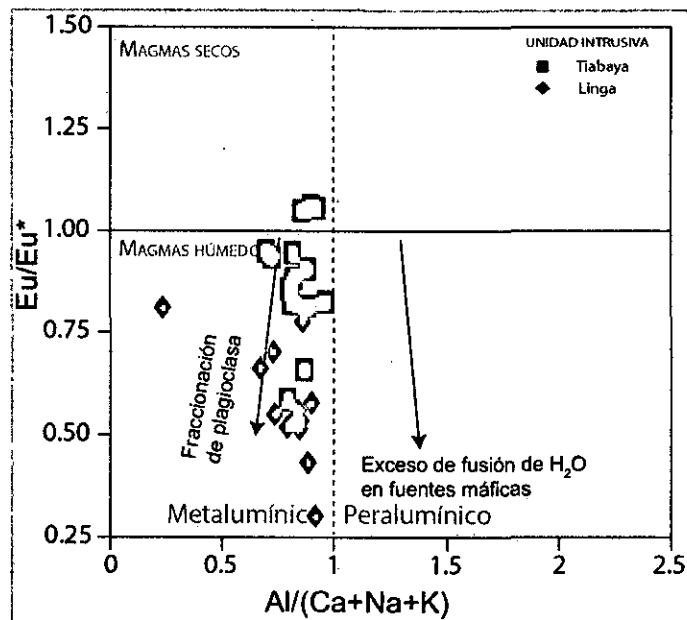


Figura 6.19 Diagrama de Tipo de Magma $Al/(Ca+Na+K)$ vs Eu/Eu^*

Este diagrama (figura 6.20) nos muestra el estado de oxidación y el contenido de agua que a su vez permite el transporte de iones metálicos asociados a determinados tipos de mineralización (Quispe & Rivera, 2013). Este diagrama presenta la importancia del grado de oxidación (contenido de Fe) y las anomalías de Eu/Eu^* de los magmas para determinar la asociación de ensambles metálicos (Choquehuanca, 2014). Se puede determinar entonces que la Superunidad Linga se encuentra más asociada a la presencia de yacimientos de Cu-Mo, mientras que la Superunidad Tiabaya se encuentra relacionada a los depósitos de Cu-Au.

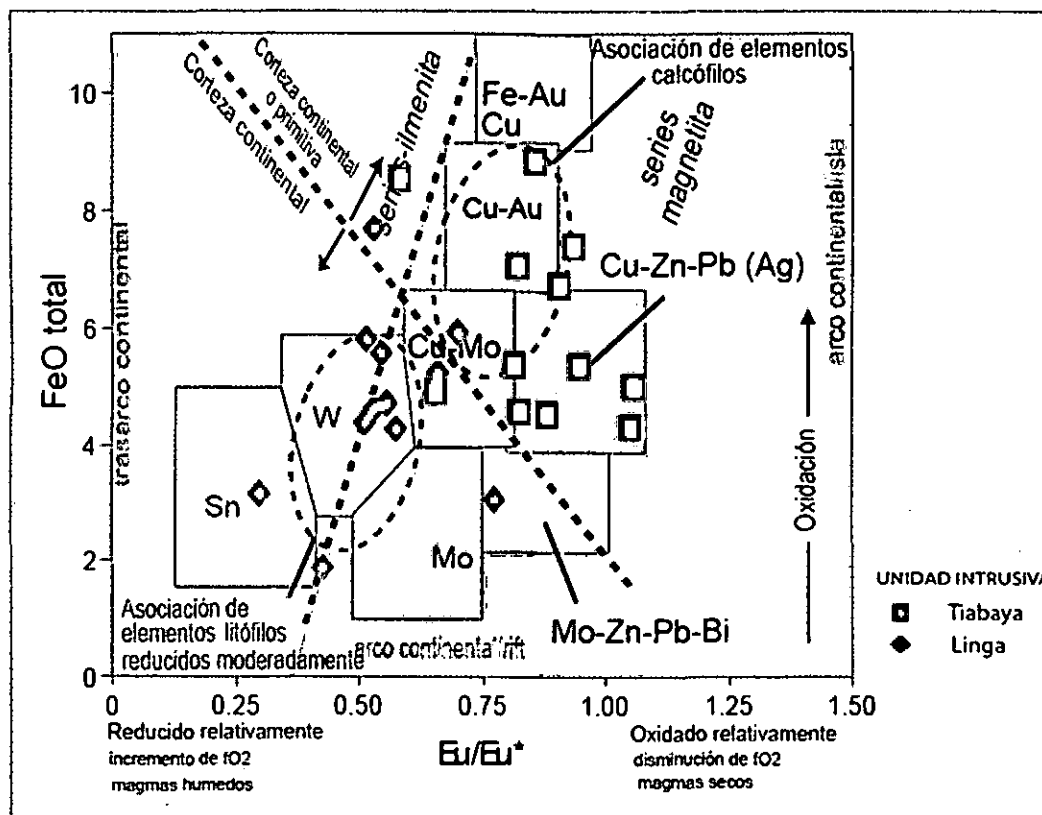


Figura 6.20 Diagrama de Oxidación vs El Contenido de agua Eu/Eu^* vs FeO total

PETROGRAFÍA	
ROCA	CÓDIGO
MONZONITA CON CUARZO	R-003
	R-017
	R-020
	R-021
	R-024
	R-027
	R-028
	R-030
	R-031
	R-032
R-061	
MONZODIORITA	R-001
	R-004
MONZOGRANITO	R-002
	R-019
	R-033
	R-034

GEOQUÍMICA	
ROCA	CODIGO
MONZONITA CON CUARZO	R-017
	R-020
	R-024
	R-027
	R-029
MONZODIORITA	R-001
	R-025
	R-026
	R-028
MONZOGRANITO	R-002
	R-014
	R-033
	R-034

Cuadro 6.3 Cuadro Resumen Comparativo de la distribución petrográfica y geoquímica de las muestras de la Superunidad Linga

PETROGRAFÍA	
ROCA	CODIGO
DIORITA	R-009 R-045 R-057
MONZODIORITA	R-010 R-041 R-044 R-055 R-059 R-077
GRANODIORITA TONALITA	R-008 R-022 R-046 R-053 R-054 R-073
MONZOGRANITO	R-042 R-051 R-052

GEOQUÍMICA	
ROCA	CODIGO
DIORITA	R-051 R-056 R-057 R-105
MONZODIORITA	R-048 R-058 R-059 R-074 R-078
GRANODIORITA TONALITA	R-007 R-008 R-047 R-054 R-080
MONZOGRANITO	NO EXISTE DATA GEOQUÍMICA

Cuadro 6.4 Cuadro Resumen Comparativo de la distribución petrográfica y geoquímica de las muestras de la Superunidad Tiabaya

6.3. AMBIENTE MAGMÁTICO Y PETROGÉNESIS

Con los datos obtenidos de la petrografía, la geoquímica, el cartografiado y las relaciones de campo establecidas de las muestras recolectadas de la Superunidad Linga y Tiabaya se podría identificar cual ha sido el proceso que ha dado origen al emplazamiento de los intrusivos. A través de la composición química de los mismos se puede ligar al ambiente en donde se han generado los magmas. Para ello es importante el estudio de los Elementos mayores, Elementos traza y tierras raras. Los análisis químicos realizados nos permitirán confirmar las observaciones de campo y además permitirá establecer las firmas geoquímicas de las mencionadas Superunidades.

En base al estudio petrológico y de los elementos mayores se han reconocido 03 facies litológicas para la Superunidad Linga (Monzodioríticas, Monzoníticas y Monzograníticas) cuyo contenido de SiO_2 varía entre 61 a 70 wt% encontrándose en el grupo de rocas intermedias a ácidas (figura 6.1). De la misma manera la Superunidad Tiabaya presenta 04 facies litológicas (Diorítico, Monzodiorítico, Tonalítico-Granodiorítico y Monzogranítico) con intervalos de SiO_2 entre 55 a 68 wt% definiéndose como rocas intermedias a ácidas (figura 6.2). Las rocas en estudio son propias de un ambiente calcoalcalino-alcalino (serie shoshonítica) (figura 6.3), lo que indicaría que estos magmas se han generado en una zona de subducción (Rubiolo et al, 2000). Con respecto al contenido de Na_2O y K_2O (figura 6.5) este va casi proporcional por lo que se determina que las rocas se encuentran en un ambiente transicional a potásico, siendo las rocas de la Superunidad Linga más próximas a los valores altos por su contenido de alteración potásica, mientras que rocas de la Superunidad Tiabaya presentan los rangos más bajos. Los magmas más profundos según el contenido de FeO tot son los de la Superunidad Tiabaya que ostentan además por lo tanto un mayor contenido de Fe respecto a las de la Superunidad Linga (figura 6.7).

La Sílice (55 a 70 wt%) en las rocas va en aumento proporcional así como el K_2O (0.6 a 6 wt%) lo que no se observa en los demás óxidos (TiO_2 , MnO , MgO y CaO) que van disminuyendo, lo cual según Araña (1984) es válido en el desarrollo de un proceso de cristalización fraccionada en el magma. Mc Court & Taylor (1978)

precisan que los procesos de fraccionamiento cristalino que controlaron la tendencia calcoalcalina de los plutones del Batolito de la Costa se discuten a la luz del comportamiento de Y. El Niobio (Nb) se ha concentrado en las últimas etapas de cristalización durante la cristalización magmática. Esta concentración es muy pronunciada en las rocas graníticas (Rankama, 1954). La confrontación de las abundancias de Y vs Nb nos indican que el origen de estas rocas son de Granitos de arco volcánico.

El comportamiento de los elementos traza incompatibles respecto a los compatibles queda establecido con la correlación negativa de Rb vs V (figura 6.11) y V vs Zr (figura 6.12). Los elementos compatibles como el V indican que las rocas provienen de Magmas parentales, su disminución progresiva hace referencia a la cristalización fraccionada. Los elementos incompatibles como el Rb muestran su tendencia en algunas muestras hacia la fusión parcial. El Rb se encuentra casi siempre en los feldespatos potásicos (Rankama, 1954) y su incremento se da básicamente en la Superunidad Linga. Por su parte el Zr, presenta una correlación negativa con tendencia hacia la cristalización fraccionada. Según estos datos obtenidos se sugiere que las rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya han sido producto de la cristalización fraccionada a partir de un magma parental. El Ce/Y (figura 6.17) confirma también que las muestras tienden hacia la cristalización fraccionada, con algunas muestras hacia la fusión de eclogita lo que indica presencia de granate residual.

La razón de los elementos de tierras raras de Sm/Y, La/Sm Sm/Yb y Dy/Yb (Mamani et al, 20120) versus SiO₂(figura 6.13) muestran que las rocas presentan una diferenciación marcada y tendencia hacia la cristalización fraccionada con algunas muestras de la Superunidad Tiabaya que indican la presencia de granate residual. La razón Ce/Y presenta valores no muy altos lo que corresponde que estos magmas no se han formado a altas profundidades fluctuando entre 20 a 50 km.

El diagrama Multielemental (figura 6.15) muestra un enriquecimiento de los elementos móviles LILE y bajo contenido de HFSE. Las anomalías reflejadas en Nb (negativas) y en Pb, K, Rb, Th y U (positivas) nos indican un típico marco tectónico de subducción (Martínez & Cervantes, 2003 citando a Wilson & Winter).

El diagrama de Tierras Raras (figura 6.16) indica el enriquecimiento de las LREE y empobrecimiento de las HREE con un marcado subparalelismo lo cual indica la importancia del proceso de cristalización fraccionada en la evolución de los magmas (Martínez & Cervantes, 2013).

Los diagramas Sr/Y vs Eu/Eu* (figura 6.18), Al/ (Ca+Na+K) vs Eu/Eu* (figura 6.19) y Eu/Eu* vs FeO total (figura 6.20) nos dan indicativos acerca de la mineralización de las rocas. Los diagrama de anomalías (Sr/Y vs Eu/Eu*) y de tipo de magma (Al/ (Ca+Na+K) vs Eu/Eu*) nos demuestran la importancia respecto a la mineralización de las rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya. Las mismas pertenecen a magmas húmedos con tendencia a la fraccionación de plagioclasas. Existen algunas muestras que tienden hacia el tipo de magmas secos, estos son los que presentan granate residual.

De todo esto podemos deducir que la cristalización fraccionada es el proceso genético por el cual se han generado esta serie de rocas.

CAPÍTULO VII

CONTROLES DE MINERALIZACIÓN

7.1. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN EN LA ZONA DE COBREPAMPA

7.1.1. CONTROL LITOLÓGICO

Se han podido reconocer 3 tipos de roca (cuadro 6.3), las cuales según su contenido químico varían de intermedias a ácidas: Monzodioritas, Monzonitas con cuarzo y Monzogranitos. La Monzonita con cuarzo es la roca que se encuentra abarcando gran parte de la franja Cu con una orientación andina cuya composición macroscópica promedio es 37% de plagioclasas, 25% de ortosa y 5 % de cuarzo.

Hacia la parte norte en la zona de Argentina la encontramos con diques de granito y están en contacto en la zona de Trancas Grande con las areniscas del grupo Yura. Se muestra más competente hacia las partes de La Perricholi-La Cortada y al SE en las zonas de La Verde, Vera y Garganta se encuentran más alteradas y cortadas por diques presentando menor mineralización. Las Monzonitas con cuarzo han sufrido una intensa feldespatización potásica, aparentemente tardimagmática, la misma que le ha impregnado la coloración rosada, por lo que aparentemente existe una relación directa entre la feldespatización y la turmalina, ya que esta se le ha observado más claramente cuando la alteración potásica es más fuerte (Arcos & Calderón, 2013). Hacia la parte central-sur de esta franja en el sector de la Purísima y Bonita se observan cuerpos aplíticos de Monzogranitos, estas rocas abarcan un buen porcentaje en la zona de estudio con alteración argílica moderada. Estos afloramientos están cubiertos en algunos sectores por las secuencias tobáceas del Grupo Nasca, quedando abierta la posibilidad de encontrar estructuras mineralizadas en profundidad. Se encuentran más compactas hacia los sectores aldaños de la Purísima 10 y hacia la parte SE las encontramos más feldespatizadas con venilleo de ortosa donde la ley de Cu es mucho menor.

Las Monzodioritas abarcan una pequeña porción en la Franja Cu de la zona de Cobrepampa, presentando muy buenas leyes en las zonas de La Purísima 12 y

Cobrepampa donde la roca se presenta casi compacta. Hacia el NO de Santa Rosa se emplazan diques de composición granodiorítica de orientación N50°O (rumbo andino). Su coloración varía entre blanco a gris rosáceo y su composición macroscópica es 50% plagioclasas, 15% ortosa y 3% de cuarzo.

Por tanto podemos concluir que las Monzonitas Linga son las que llevan el control litológico en la zona de Cobrepampa.

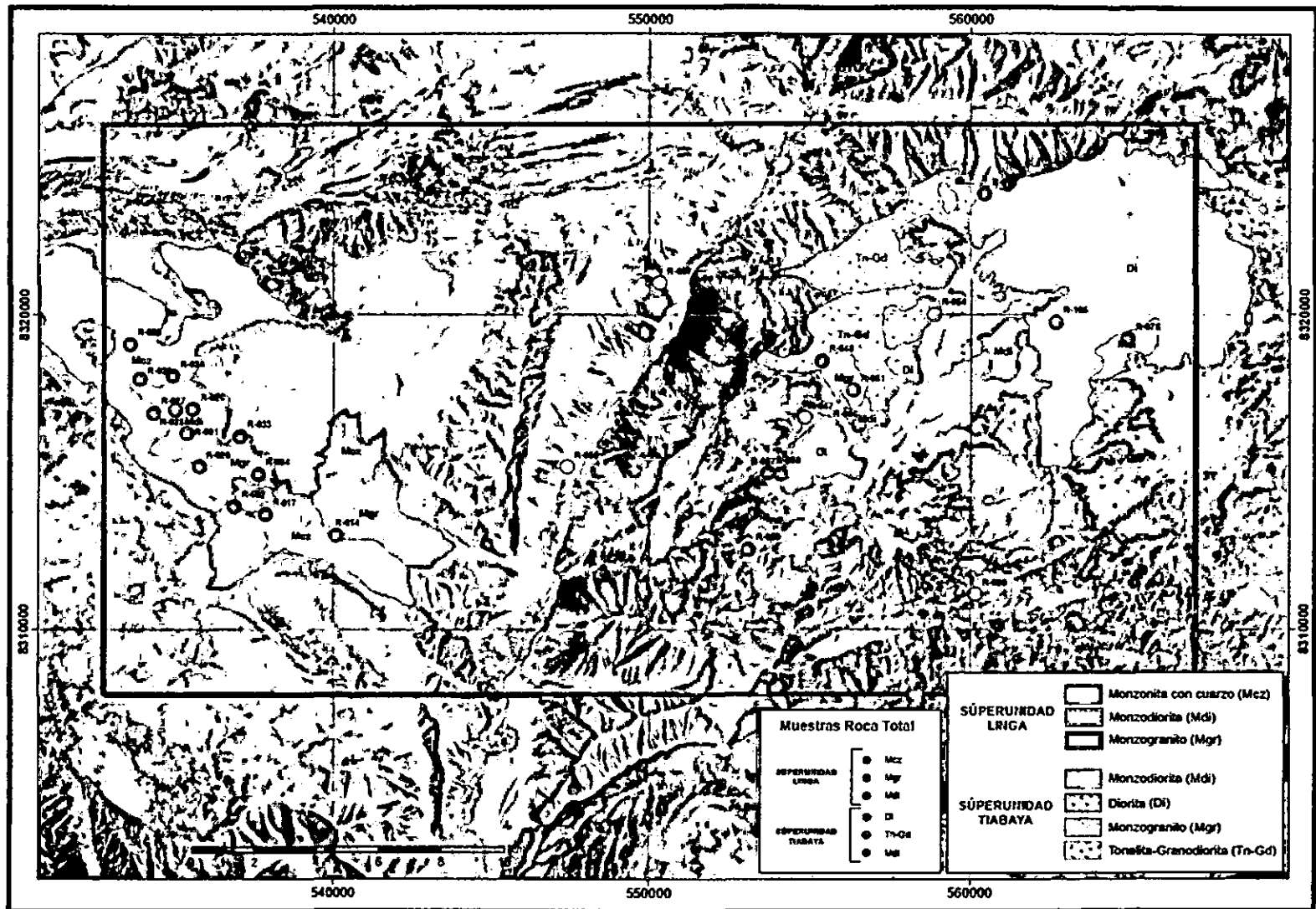
7.1.2. CONTROL ESTRUCTURAL

Regionalmente el área de estudio se encuentra afectada por una tectónica de ruptura frágil la que ha resultado en un fallamiento en bloques (Olchanski, 1980). Existen dos sistemas principales que son los que controlan la mineralización en la zona: uno de sistema andino NO-SE y otro de respuesta E-O (dispersión de las vetas) que forman zonas de cimoides (lazos cimoidales) albergando la mineralización en la zona (mineralización económica), producto del juego estructural de estos fallamientos, el mismo que ha creado ramales (*splits*) en casi todas las vetas (Arcos & Calderón, 2013).

Asimismo se puede observar a una escala regional donde las vetas presentan una geometría en forma de huso estructural, en el cuál las fallas regionales de rumbo andino NO-SE han generado juegos de bloques en su mayoría con esfuerzo compresivo (σ_1) de carácter tensional y las fallas E-O (Sistema de Fallas Regionales Iquipi Clavelinas) actúan como un esfuerzo de extensión con apertura de estructura y relleno (σ_2), la que ocurre por las condiciones dinámicas impuestas por la presión hidráulica de los fluidos generadores (figura 7.3). Estas fallas E-O representadas por el Sistema de Fallas Regionales Iquipi-Clavelinas se reconocen como fallas dextrales con movimientos considerables, siendo las que producen probablemente la dispersión de las vetas y serían posterior al emplazamiento de los plutones. Roperch et al (2006) indica que el Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas es reconocida como fallas tipo normal y con componente dextral porque desplaza lateralmente formaciones cretácicas. El control estructural viene a ser el de mayor importancia puesto que es el condicionante para el emplazamiento de la mineralización.



Mapa 7.1 Mapa de Discriminación litológica de las variaciones composicionales de Rocas de la Superunidad Linga en la zona de Cobrepampa y de la Superunidad Tiabaya en la zona de Canchete.



Mapa 7.2 Mapa de Discriminación Litológica de las zonas de Cobrepampa - Canchete y distribución de las muestras de roca total

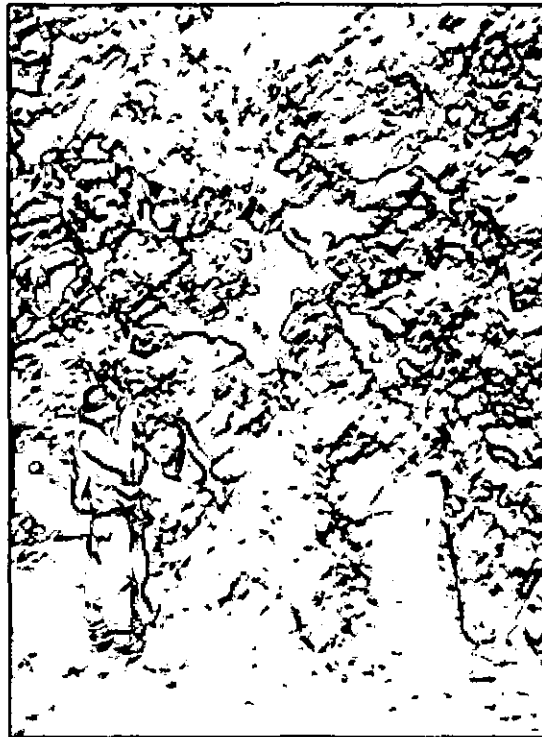


Figura 7.1 Zona de alteración de la monzonita, zona de falla, con venilleo hidrotermal de cuarzo y ortosa(Qda Santa Rosa).



Figura 7.2 Muestra con Carbonatos de Cobre (Malaquita, Crisocola) en las fracturas de la roca(San José).

Las fallas más importantes NO-SE son: la Falla Manto que es la que lleva el control del Cu en la zona de estudio conformada por un alto estructural, poniendo en evidencia la presencia de sulfuros primarios y es de tipo sinistral. La Falla Cuesta Colorada de movimiento dextral es la que delimita el área donde se encuentra la mineralización de Cu. Las fallas transversales (E-O) son las que sirven de respuesta, siendo hacia el lado NE de la zona de Cobrepampa el río Trancas que forma el límite norte del *jog* estructural regional. Asimismo el Sistema de Fallas Génova tiene la misma dirección atravesando la franja de Cu y siendo la que delimita los grandes husos estructurales (figura 7.5).

Las estructuras mineralizadas se presentan como filones (vetas) de rumbos promedios de N50°O, subverticales que son producto de los esfuerzos compresivos reactivados constantemente, así como a esfuerzos tensionales que ha producido fallas transversales, lo que ha provocado la formación de lazos cimoides (tipo rosario) (Arcos & Calderón, 2013). Se pueden observar dos tipos de Sistemas Morfoestructurales de los cuerpos filonianos: sistema de filones en paralelo y sistema de filones en ángulo agudo (figura 7.4). En algunos sectores como en Bonita y Vera se presentan con dirección NE-SO. Hacia los bordes del *jog* estructural regional (Huarato Joven, Qda Trancas Grande) las leyes son mucho menores.

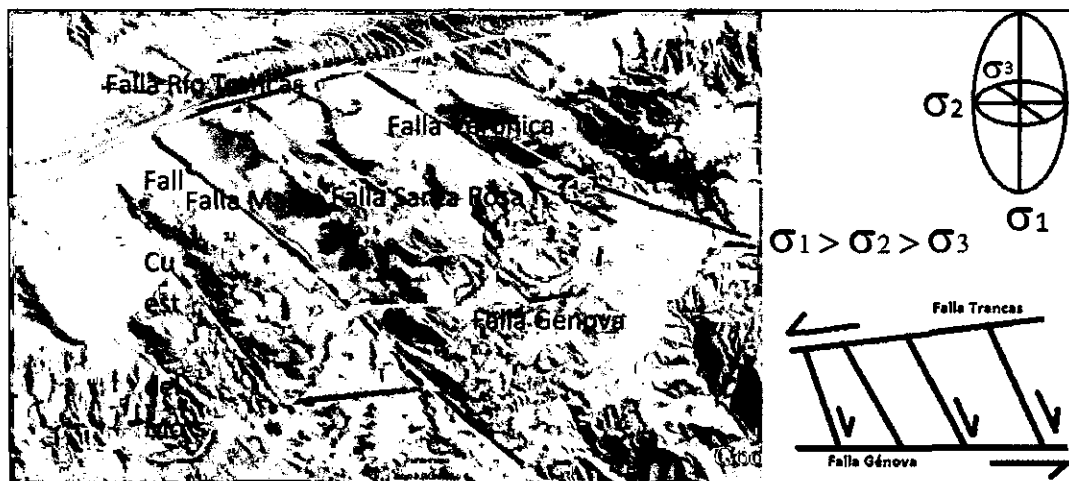


Figura 7.3 Sistema estructural regional observado hacia el norte del Sector Cobrepampa en el que se aprecia que las fallas regionales Cuesta del Molino, Manto, así como Santa Rosa y Verónica, han generado juego de bloques compresivos. En estos *jogs* estructurales se habrían concentrado la mineralización observándose estructuras en forma de huso, Tomado y modificado de Arcos & Calderón, 2013.

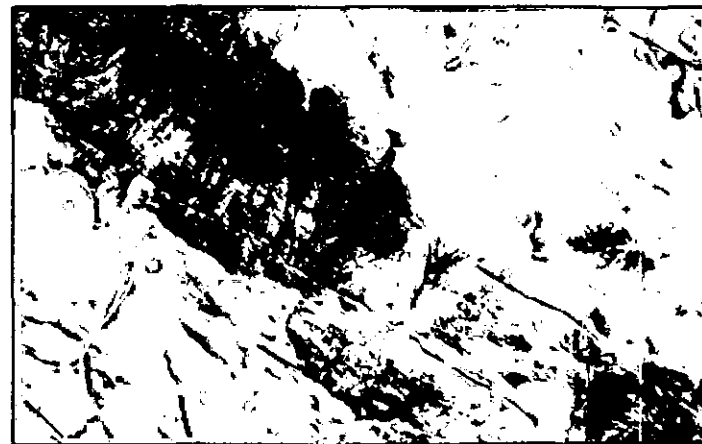
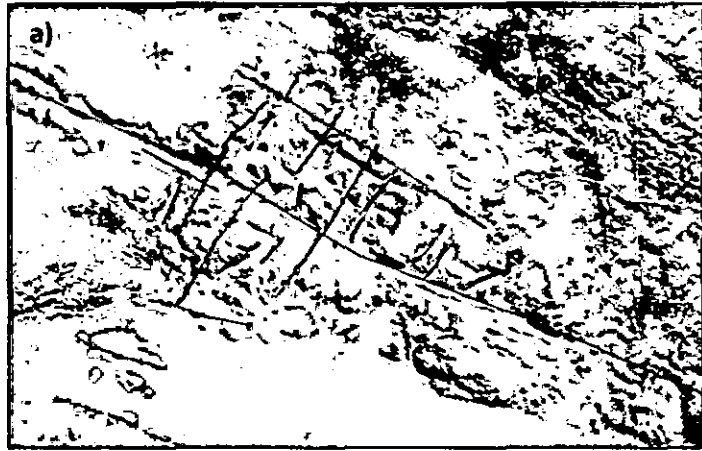


Figura 7.4 Sistemas Morfoestructurales de los cuerpos filonianos observados en la zona de Cobrepampa. Estos sistemas nos determinan una guía de exploración de carácter morfológico y estructural, a) Sistema de filones en enrejado rectangular (Cobrepampa) b) Sistema de filones en ángulo agudo (Norte de Pico Blanco) c) Sistema de filones en paralelo (Oeste de Magdalena), Tomado de Arcos & Calderón, 2013.

7.1.3. CONTROL MINERALÓGICO

Es el cuarzo blanco brechado el que ejerce aparentemente el control mineralógico de las vetas de Cu, las mismas que tienen un ancho promedio de 1.00 m y longitud variable. Podemos concluir que existen tres zonas de mineralización: zona de oxidación, zona de enriquecimiento secundario y zona hipógena, cada una de ellas con minerales característicos, aunque podemos apreciar sin embargo que algunos se encuentran también en otros niveles.

La zona de oxidación tiene aproximadamente 80 metros de espesor, los minerales característicos principales son la hematita, crisocola, malaquita, atacamita, cuprita y calcita. La zona de enriquecimiento secundario es la zona que presenta la mejor mineralización y se desarrolla aproximadamente unos 100 m, incluso en las zonas de La Perricholi es mayor. La calcosita, covelita y bornita son los principales minerales característicos en esta zona (figura 7.6). La zona hipógena es la más profunda y en la cual la mayoría de vetas han alcanzado este nivel, se observa con mucha mayor notoriedad en la zona de quebradas, donde la ley de cobre disminuye, como por ejemplo en las zonas de La Verde, Trancas Grande y Huarato. La Calcopirita es el mineral característico en esta zona y lo encontramos en masas compactas y en algunos casos diseminado. La pirita se encuentra como ganga.

En todas las zonas mineralizadas encontramos actinolita-tremolita y magnetita, lo que nos indicaría un origen hidrotermal profundo. La presencia de turmalina en muchas de las fracturas, indica su relación con la ortosa.

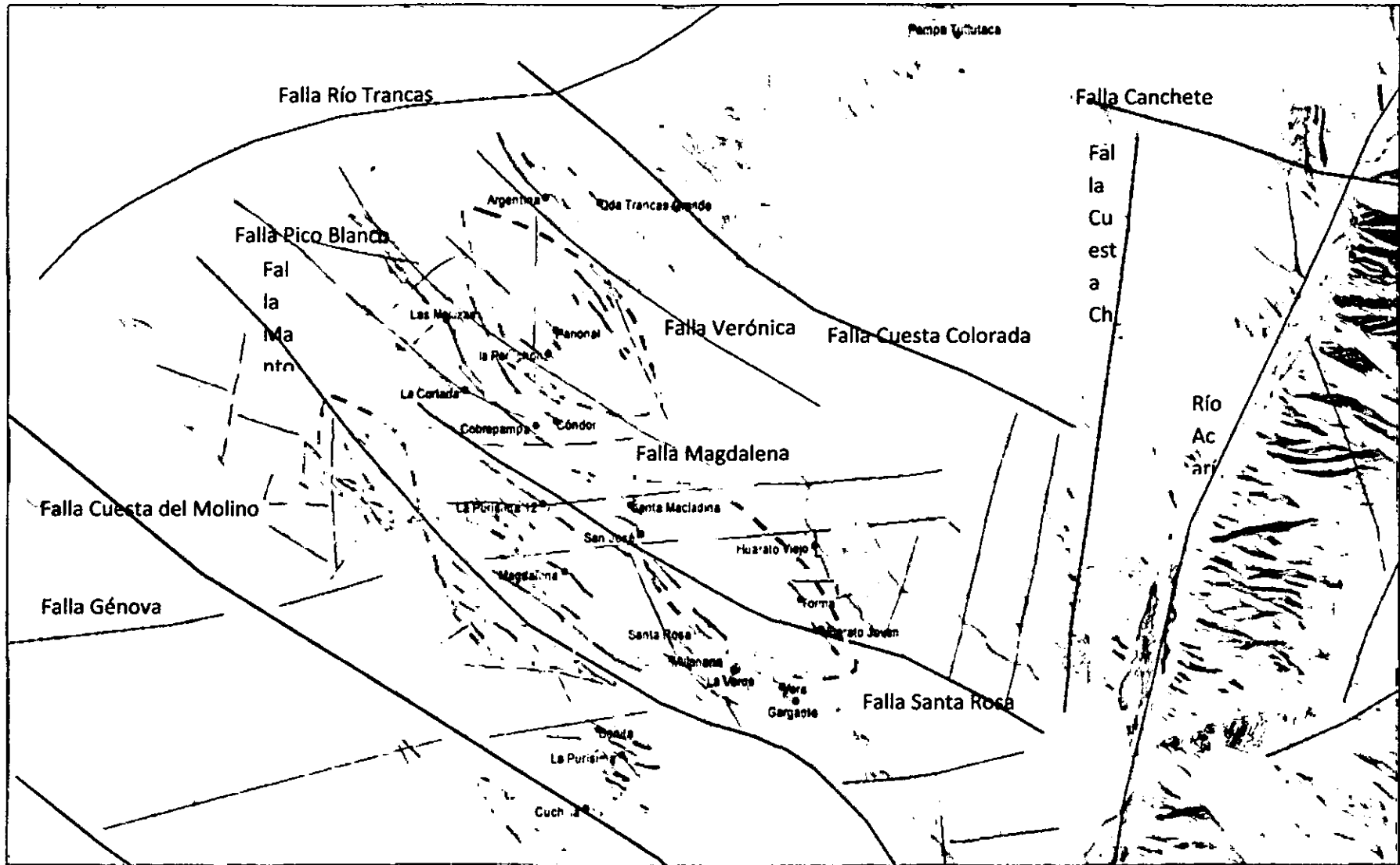


Figura 7.5 Modelo estructural en la zona de Cobrepampa, donde se observa la disposición idealizada de las vetas (traza) en forma de huso. Este sistema estaría funcionando tanto de manera local como regional debido al control estructural (Tomado y modificado de Arcos & Calderón, 2013).



Figura 7.6a) Muestra mineralizada del área de Millonaria con bornita, calcosita, calcopirita además de cuprita y atacamita. b) Carbonatos de Cu (malaquita, crisocola) en las fracturas de la roca caja extraída de las canchas, ubicada en la zona de San José.

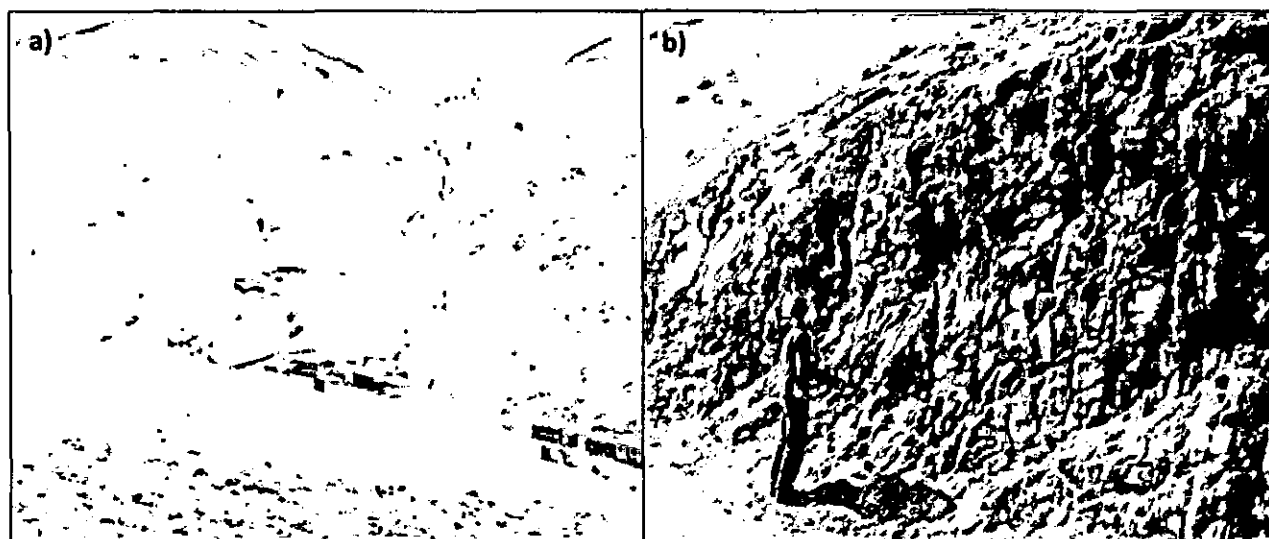


Figura 7.7 a) Vista de las labores mineras en la zona de Cobrepampa, algunas de estas presentan piques de hasta 50m y tienen una orientación de N50°O b) Alteración potásica (ortosa) en venas y argílica moderada de la monzonita que se observa muy fracturada. Quebrada Santa Rosa.

7.2. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN EN LA ZONA DE CANCHETE

7.2.1. CONTROL LITOLÓGICO

Afloran rocas intrusivas que van desde Las Dioritas hasta los Monzogranitos (cuadro 6.4) pertenecientes al Batolito de la Costa. Existe una variación composicional en las rocas debido a la diferenciación magmática de esta secuencia final de intrusión (Olchanski, 1980). Los Monzogranitos que se encuentran abarcando la zona del Cerro Visija en su mayor amplitud, medianamente oscuras cuya composición macroscópica es 30% de plagioclasas, 20% de ortosa y 15% de cuarzo con incipiente alteración argílica, cloritización y oxidación. No presenta xenolitos y tiene cierto alineamiento de minerales máficos. En la zona de Pampa Orjo Canchete tiene mayor contenido de ortosa encontrándose atravesada por diques andesíticos con venilleo de cuarzo lechoso. Las Tonalitas-Granodioritas ocupan más del 50% del área de Canchete en el sector NO. Son de coloración gris medio a oscuro y presentan incipiente argilización y oxidación. Hacia la zona NE del Cerro Visija las encontramos algo alteradas, en cambio hacia los sectores de Pampa Redonda y Pampa Orjo Canchete se encuentran compactas con punto de oxidación. En la zona del Cerro Pedregoso presentan por partes textura porfírica. Su composición química promedio es 40% de plagioclasas, 25% de cuarzo y 10% de ortosa. Las Monzodioritas son las rocas que se encuentran mejor distribuidas en la zona del Cerro Pedregoso atravesadas por venillas de cuarzo con xenolitos de dioritas. Las rocas en esta zona se encuentran algo silicificadas y hematizadas con puntos de epidota, bastante compactas y presentan orientación E-O. Hacia la zona del Cerro Canchete Hembra son rocas competentes y se encuentran algo cubiertas por las tobas de la formación Huaylillas. Al Oeste de la Quebrada Palljay Huarmi el suelo de la roca se encuentra hematizado y las encontramos muy fracturadas. En el sector SE del área de Canchete se presentan en un bajo estructural, con ligero magnetismo. Son rocas de coloración gris medio, cuya composición macroscópica química promedio es de 45% de plagioclasas, 10% de cuarzo y 7% de ortosa. Además presentan textura fanerítica, débil argilización e incipiente sericitización. Las Dioritas con cuarzo de composición química macroscópica de 45% de plagioclasas, 10 % de cuarzo y 5% de ortosa cuyo emplazamiento es controlado

por fallas con orientación NE-SO , se encuentran mejor expuestas en la zona SO de Pampa Orjo Canchete donde se encuentran más compactas y hacia la zona de la Quebrada Palljay Huarmi presentan abundante plagioclasa. Las rocas que presentan la mejor mineralización son las Dioritas de color gris oscuro, con débil alteración argílica, epidotización y cloritización. Se encuentran distribuidas hacia el sector este del área de Canchete y Santa Elisa donde la ley de Oro es mayor en comparación a las otras zonas (> 3 ppm). En algunas partes las encontramos alteradas con halos de oxidación y aparentemente presentan orientación E-O. Es por tanto, las Dioritas Tiabaya que llevan el control litológico en el área de Canchete.

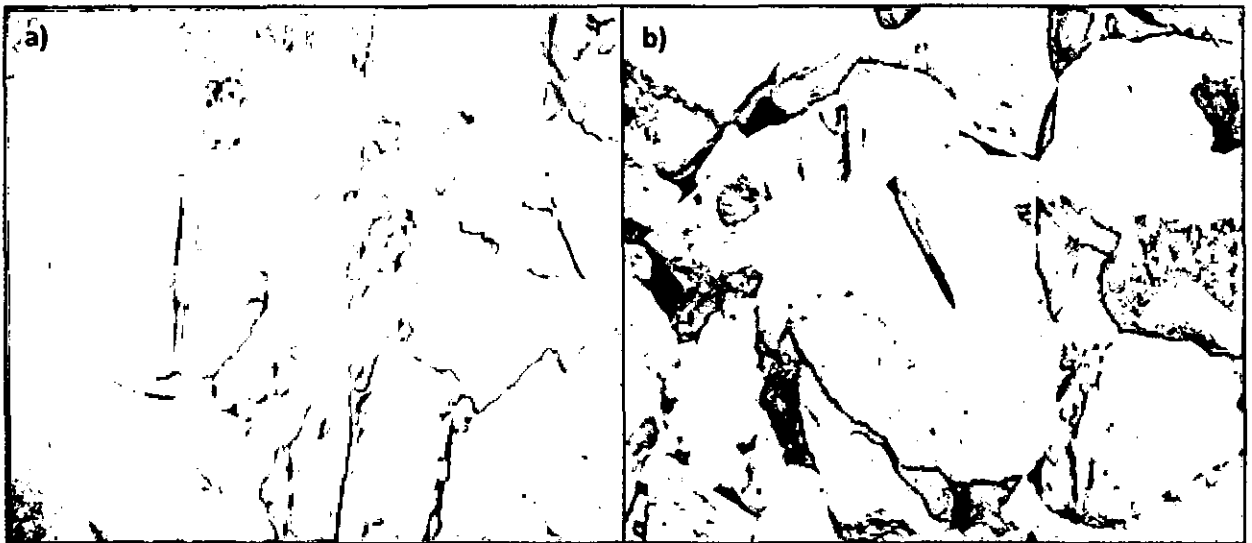


Figura 7.8 a) Vetillas de cuarzo con alteración argílica en roca caja Dioritas (Santa Elisa) b) Tonalita-Granodiorita en la zona sur de Santa Elisa, la roca presenta xenolitos.

7.2.2. CONTROL ESTRUCTURAL

La zona de Canchete tiene el mismo modelo estructural que en la zona de Cobrepampa presentando un fuerte fallamiento con sistemas de orientación NO-SE y E-O, en menor proporción NE-SO donde se forman interesantes trampas estructurales. La Falla Filomena forma el margen del *jog* estructural en esta zona de estudio donde se pueden observar vetas de rumbo N50°O con buzamiento 70°NE hacia los sectores sureste de Canchete y Santa Elisa al noroeste. Asimismo limita el *jog* estructural fallas E-O hacia el norte en la zona de Canchete donde se observan en contacto con las tonalitas-granodioritas y en la cual las leyes de oro son mucho mayor. Consisten de vetas hidrotermales con cuarzo aurífero que rellenan fracturas. Se han podido reconocer trincheras hechas por Empresas Mineras en los halos de alteración hacia el lado suroeste de Canchete (figura 7.9).

7.2.3. CONTROL MINERALÓGICO

Es el cuarzo aurífero el que lleva el control mineralógico en la zona de Canchete y difiere de las vetas de Cobrepampa puesto que presentan un ancho promedio de 0.30 m y su longitud es de 35 m. En la zona del Cerro Pedregoso se evidencia mineralización de Cu en las rocas Monzograníticas con hilos finos de sulfuros (calcopirita) en estructuras NE-SO y también en el sector del Cerro Visija la encontramos con OxFe probablemente generada por una mezcla con los intrusivos monzoníticos de la Superunidad Linga. Hacia la zona norte de Canchete en el contacto entre las Tonalitas-granodioritas y las dioritas las vetas de cuarzo blanco con óxidos de fierro presentan leyes con valores altos (11.41 ppm) en estructuras E-O y en algunos casos con carbonatos de cobre (malaquita, crisocola) además presentan valores anómalos de Ag. En la zona sur de Canchete el cuarzo aurífero se encuentra brechado con puntos de bornita. En su mayoría se encuentran explotando el nivel de oxidación con profundidades de hasta 40m y presentan OxFe y Carbonatos de Cu como ya lo mencionamos anteriormente (figura 7.10)

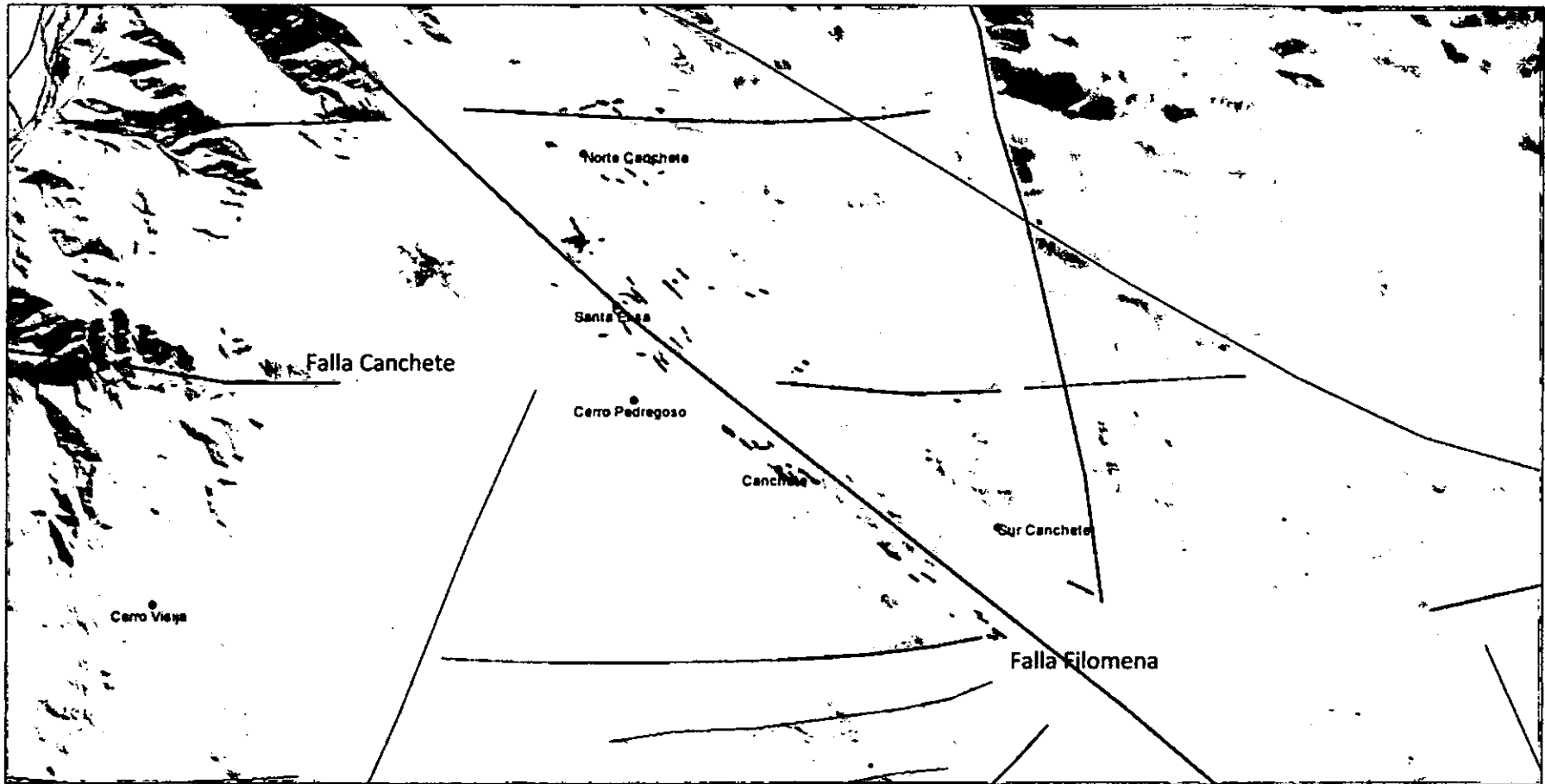


Figura 7.9 Modelo estructural en la zona de Canchete, donde se observa la disposición idealizada de las vetas (traza) en forma de huso. Este sistema funciona también para la zona de Cobrepampa.

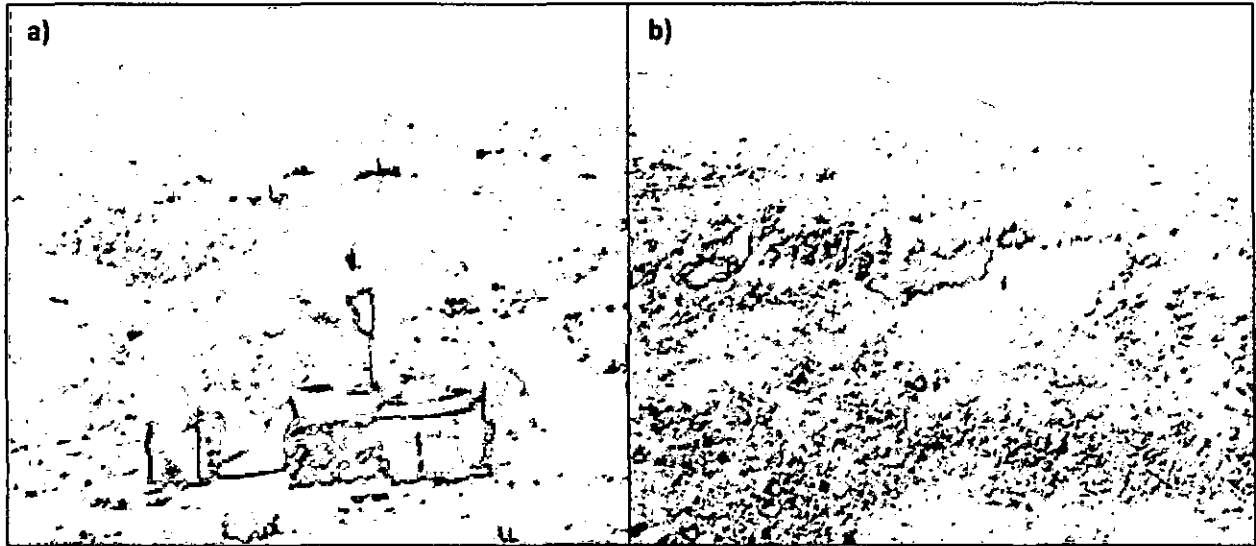


Figura 7.10 a) Vista de las labores mineras en la zona de Canchete Norte, las mismas que presentan piques menores a los 80m y tienen una orientación E-O con elevadas leyes de oro b) Trincheras en la zona SE de Canchete con halos de alteración argílica de 1-2 m y halos de oxidación de 1-2 m.

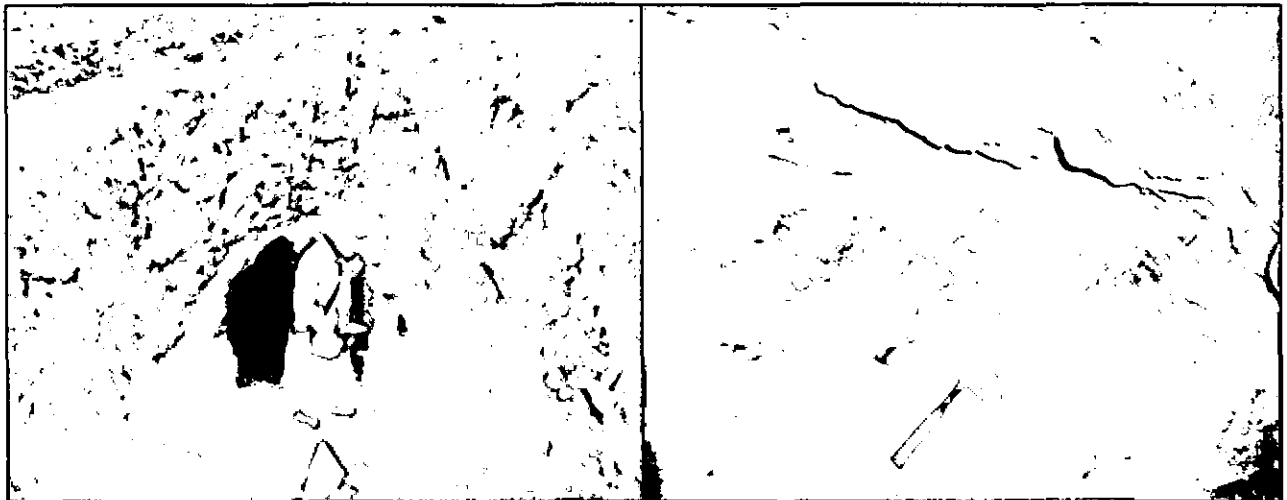


Figura 7.11 a) Entrada de una labor minera en la zona de Canchete, la roca caja se encuentra oxidada con venilleo de cuarzo y carbonatos de cobre en la superficie b) Interior de una labor minera abandonada en la zona sureste de Canchete, la roca caja se encuentra oxidada con presencia de carbonatos de cobre, los pequeños mineros usan como guía el panizo de falla que les indica por donde se ha dirigido la veta.

CAPÍTULO VIII

ASPECTOS PROSPECTIVOS RELACIONADOS A LA PEQUEÑA MINERÍA

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de las Franjas Metalogénicas IX Depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusivos del Cretácico superior y VIII Depósitos de Fe-Cu-Au (IOCG) del Cretácico inferior las mismas que se encuentran dentro de la franja Nasca Ocoña del Batolito de la Costa (Acosta et al, 2011). Se han reconocido en el área de estudio tres franjas locales: cobre (Cu), cobre-oro (Cu-Au) y oro (Au) (Arcos & Calderón, 2013).

Tal como hemos desarrollado en los capítulos anteriores se han identificado dos eventos magmáticos asociados con la Mineralización: Un 1er evento de la Superunidad Linga (Monzogranitos, Monzonitas con cuarzo y Monzodioritas) relacionado con la mineralización de cobre y un 2do evento de la Superunidad Tiabaya (Monzogranitos, Tonalitas-Granodioritas, Monzodioritas y Dioritas) relacionado con la mineralización de oro. Se presentan como vetas de relleno de fallas y cuyo control estructural del área de estudio viene dado por fallas de rumbo andino (NO-SE) y E-O.

La minería artesanal, es la labor actual dentro de la zona de estudio siendo además la principal receptora de trabajo para las comunidades que en ella habitan. Esta actividad consiste básicamente en la explotación de las vetas auríferas y/o cupríferas. En Cobrepampa se han reconocido 05 sectores principales (Cobrepampa, Argentina, La Purísima, Santa Rosa-La Verde y Huarato) donde se desarrollan estas labores, mientras que en Canchete existen pequeñas concentraciones de mineros en los linderos del Cerro Canchete (Santa Elisa) y más hacia el suroeste hacia la zona de Amauta. Las zonas aledañas se encuentran concesionadas por empresas de régimen general (Gran Minería).



Mapa 8.1 Mapa de Ubicación espacial de las muestras de mena en el área de estudio

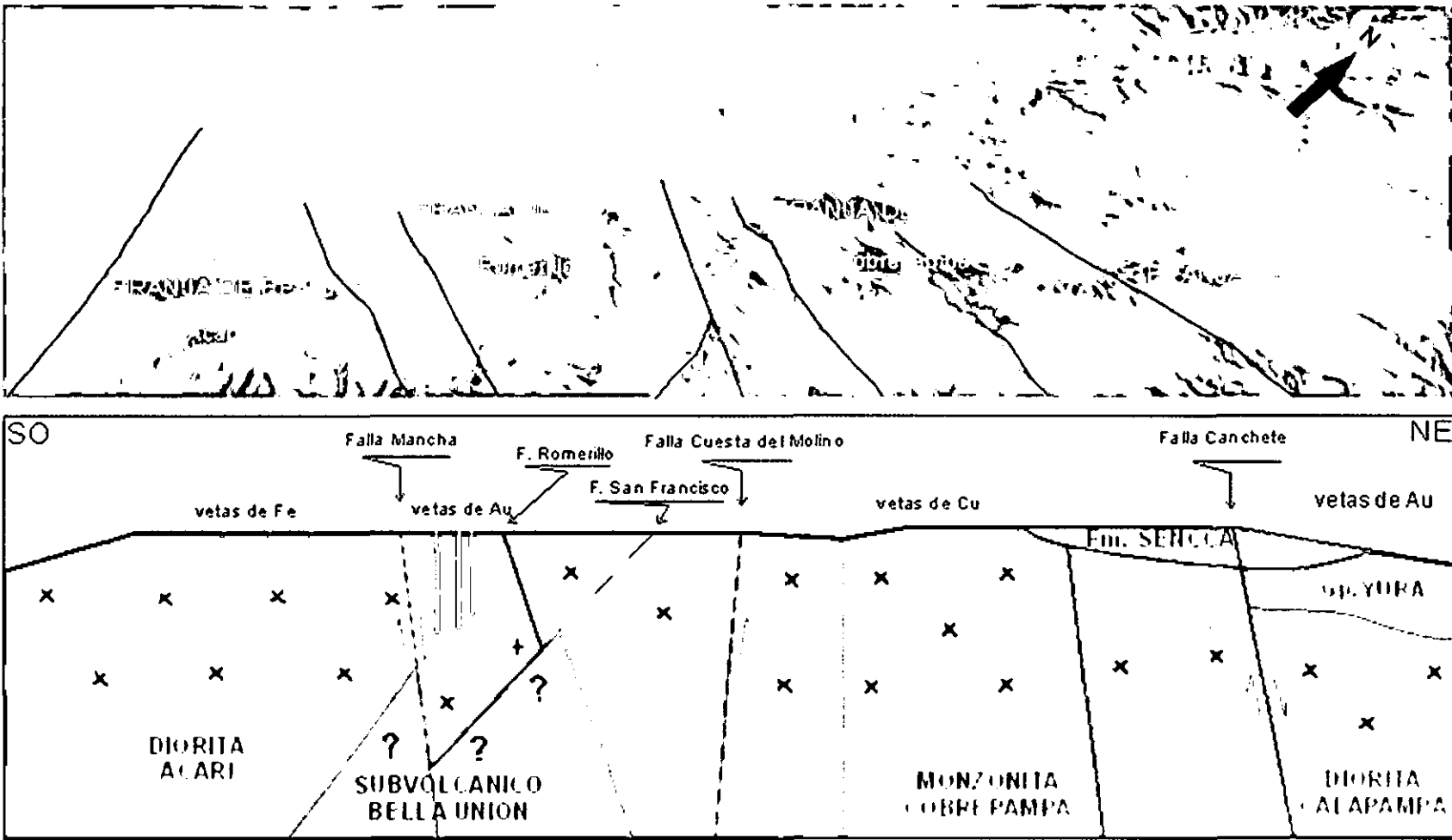


Figura 8.1 Perfil – Sección mostrando las Franjas Metalogénicas en el área de estudio. Se evidencia el fuerte control estructural de estas, así como las relaciones de los diferentes eventos magmáticos de este segmento del Batolito de la Costa con la mineralización (Tomado de Arcos & Calderón ,2013)

Se han recolectado 54 muestras de mena de los distintos asientos mineros que se encuentran distribuidos en el área de estudio que han sido analizadas por el método de ensayo al fuego 50gr para el Au y Digestión Multiácida para los elementos base.

8.1. RELACIONES CON LA MINERALIZACIÓN EN LA ZONA DE COBREPAMPA

A través del estudio litogeoquímico se han comprobado que las Superunidades Linga y Tiabaya se presentan como facies litológicas con características singulares y cuyo proceso magmático ha sido dado por la cristalización fraccionada. Los resultados de las menas analizadas (Cuadro 8.1-8.2) nos proporcionaron información acerca de la mineralización relacionada a cada evento magmático.

La Superunidad Linga (Cuadro 8.1) presenta valores promedio de Cu para el caso de los monzogranitos de 25.32 % en sus rangos más elevados con dirección de rumbo andino de N50°O hacia los sectores de San José y Cuchilla con longitudes mayores a los 45m y un ancho promedio de 1 m. La mineralización viene siendo dada por una zona de oxidación (malaquita, crisocola, hematita, cuprita), zona de enriquecimiento secundario (bornita, covelita, calcopirita) y zona de sulfuros primarios (calcopirita y pirita). Las Monzonitas con cuarzo se encuentran abarcando casi toda la zona de estudio en donde se han emplazado las vetas paralelas a sub paralelas con direcciones N46-60°O cuyo promedio de Cu% es de 19.26 y dirección E-O con 16.34. Básicamente la mayor cantidad de labores se encuentran actualmente en la zona de enriquecimiento secundario (covelita, calcosita, bornita, atacamita) y están algunos ya en la zona de sulfuros primarios (calcopirita, pirita).

Las vetas en esta zona presentan un ancho promedio de 1.00 m y una longitud de 55m. Las Monzodioritas se ubican hacia la parte central de la zona de Cobrepampa. El muestreo sistemático en esas rocas han determinado valores promedios de 16.87 % cuya dirección de las vetas es de N50°O con un ancho promedio de las mismas de 1 m y una longitud aproximada de 45 m. Básicamente se encuentra en la explotación de minerales característicos de la zona de enriquecimiento secundario

(cuprita, calcosita, bornita) con presencia de carbonatos de cobre (malaquita, crisocola). La mayoría de las labores son piques de 70m. En base a los resultados obtenidos podemos determinar que los mejores valores (leyes) de las menas de Cu se ven reflejando en las rocas de composición Monzogranítica.

8.2. RELACIONES CON LA MINERALIZACION EN LA ZONA DE CANCHETE

Las rocas de la Superunidad Tiabaya son las que se relacionan básicamente a la mineralización de oro. Sin embargo, es importante mencionar que los Monzogranitos albergan a las vetas de Cu, con valores promedios de 15.78 % que a diferencia de los Monzogranitos de la Superunidad Linga, estas presentan un ancho promedio de 0.25 m y una longitud de 50m y se presentan como filones de cuarzo blanco hialino con hilos de sulfuros (calcopirita y pirita). Las Tonalitas-Granodioritas actúan como rocas estériles puesto que no son receptoras de mineralización. Abundan en la zona de Canchete, pero sin embargo sus valores de Au es <3 ppm. Las monzodioritas tienen una tendencia casi E-O, se han hecho trincheras y presenta mineralización de cuarzo blanco con óxidos de Fierro. Las vetas presentan valores menores a 3 ppm (<3) con un ancho casi de 1m y una longitud aproximada de 40m. Las Dioritas presentan las mejores leyes de Au en la Zona de Canchete, más relacionadas a las estructuras E-O hacia la zona de Santa Elisa y Norte Canchete con una ley de 701.19 ppm cuyas vetas presentan un ancho de 0.30m y una longitud de 35m donde la roca caja se encuentra alterada y presenta Carbonatos de Cu como malaquita.

OCA	MUESTRA	ÁREA	Cu (%)	ANCHO	LONG
Mgr	M-002	La Purísima	7.798	1.00m	40m
	M-005	La Purísima	2.334	1.10m	45m
	M-006	Bonita	21.586	0.50m	45m
	M-007	San José	23.026	0.65m	45m
	M-011	Jesus- Sector La Quebradita	3.949	0.90m	40m
	M-019	Superior-Sector Huarato Joven	6.823	2.00m	54m
	M-020	Cuchilla	31.346	1.50m	60m
	M-032	Santa Macladina	6.448	2.00m	60m
	M-033	Purísima	5.805	1.00m	67m
	M-041	Torma	6.292	0.40m	50m
	M-012	Vera	3.468	1.00m	40m
	M-013	Garganta	3.108	1.00m	40m
	Mcz	M-030	Argentina	11.071	1.00m
M-036		Quebrada Trancas Grande	2.643	0.20m	50m
M-037		Quebrada Trancas Grande	0.288	0.20m	
M-038		Quebrada Trancas Grande	2.388	0.20m	
M-023		Parional	4.110	1.00m	60m
M-024		La Perricholi-Sector Cobrepampa	15.311	1.00m	60m
M-031		Cobrepampa	13.834	1.20m	60m
M-028		La Cortada-Sector Cobrepampa	0.645	1.50m	50m
M-029		Las Mellizas-Sector Cobrepampa	36.824	1.15m	55m
M-021		Magdalena	7.146	1.00m	62m
M-001		La Purísima	0.013	1.00m	45m
M-003		La Purísima	0.098	1.00m	40m
M-004		La Purísima	3.829	0.80m	40m
M-014		La Verde	1.128	0.90m	55m
M-015		Millonaria-Sector Santa Rosa	4.635	1.00m	65m
M-016		Millonaria-Sector Santa Rosa	5.301	1.10m	60m
M-017		Millonaria	4.229	1.30m	80m
M-018		Santa Rosa	3.910	1.50m	63m
M-039		Huarato Viejo	16.337	1.50m	50m
M-040		Huarato Viejo	1.652	1.00m	50m
Mdi	M-008	La Purísima 12	17.572	1.00m	40m
	M-025	Cóndor-Sector Cobrepampa	10.724	1.15m	55m
	M-026	Cobrepampa	6.505	1.00m	55m
	M-027	Cobrepampa	21.060	1.00m	70m
	M-022	Cobrepampa	18.105	1.00m	60m

Cuadro 8.1: Resultados Geoquímicos por Cu de las vetas en la zona de Cobrepampa

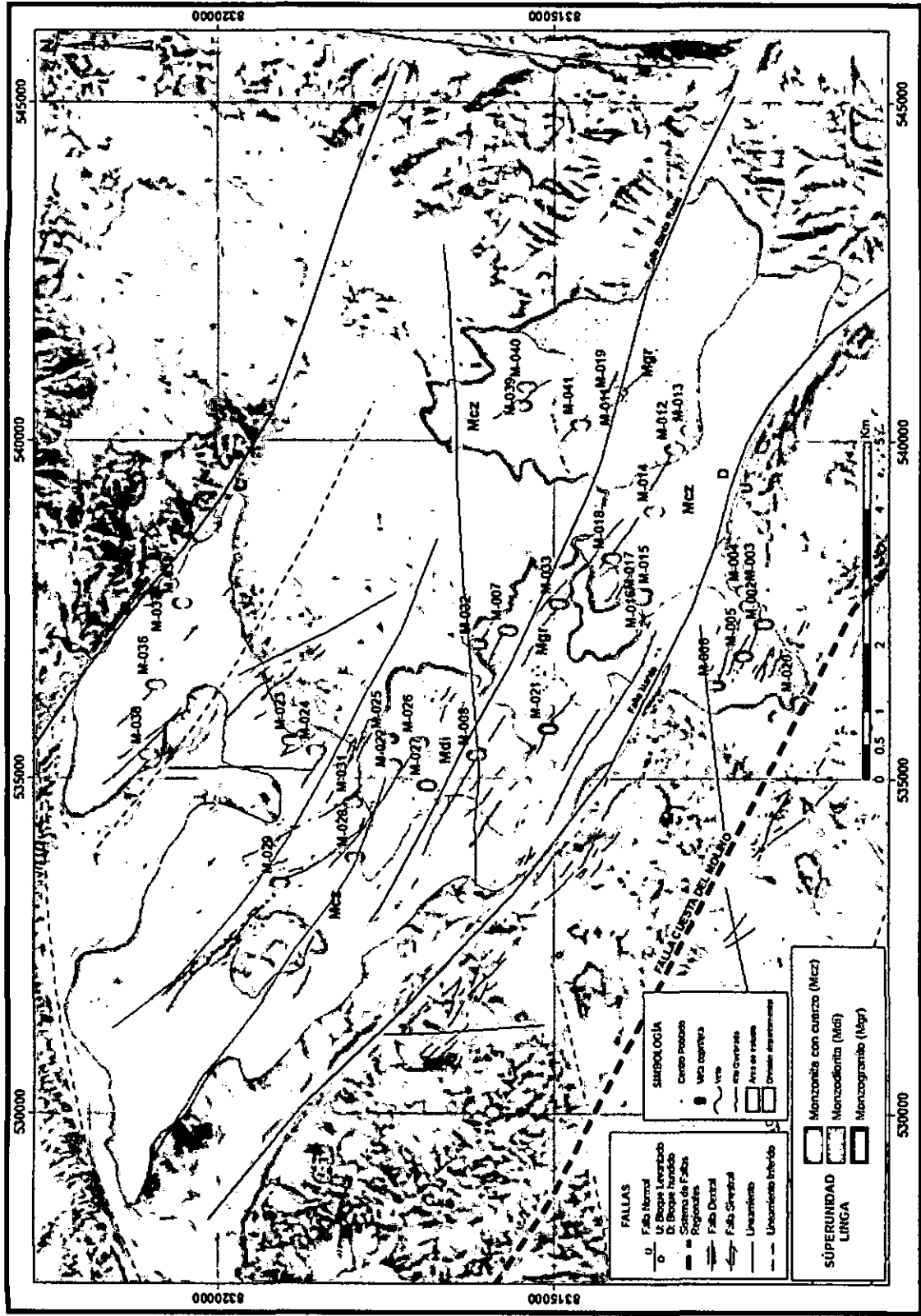


Figura 8.2: Mapa de distribución de las vetas en la zona de Cobrepampa

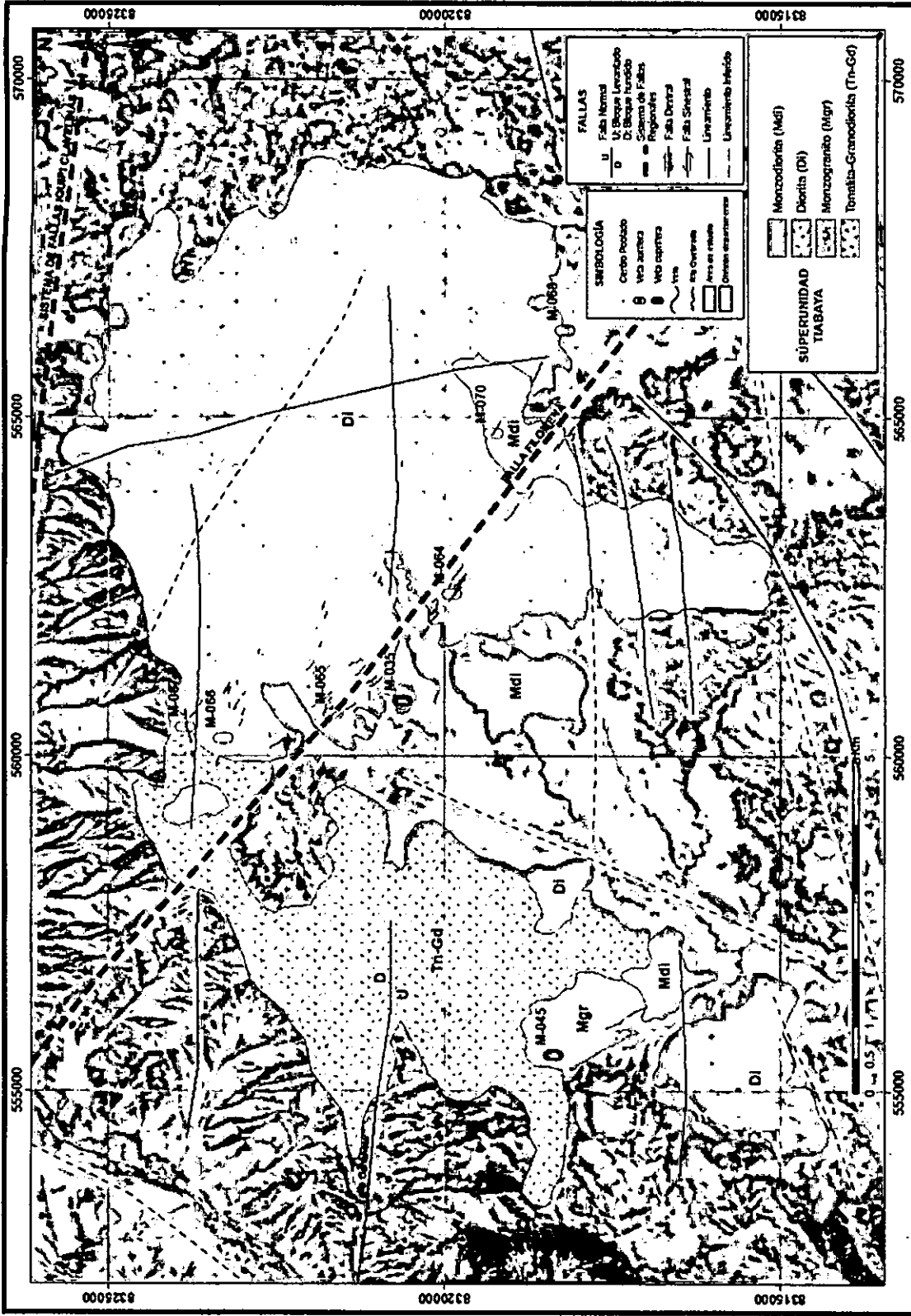


Figura 8.3: Mapa de distribución de las vetas en la zona de Canchete

ROCA	MUESTRA	ÁREA	Au (ppm)	Cu (%)	ANCHO	LONG
Mgr	M-035	Cerro Pedregoso	--	0.034	0.30m	50m
	M-045	Cerro Visija	--	15.779	0.20m	
Tn-Gd	M-067	Canchete	11.41	0.045	0.35m	35m
Mdi	M-070	Canchete	<3	0.000	1.00m	40m
Di	M-064	Canchete	<3	0.000	0.20m	30m
	M-065	Santa Elisa	14.12	0.000	0.35m	40m
	M-066	Canchete	701.19	0.151	0.30m	30m
	M-068	Canchete	<3		0.25m	30m

Cuadro 8.2: Resultados Geoquímicos por Au-Cu de las vetas en la zona de Canchete

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La Superunidad Linga presenta 03 facies litológicas: Monzodioritas, Monzonitas con cuarzo y Monzogranitos en la zona de Cobrepampa, mientras que la Superunidad Tiabaya presenta 04 facies litológicas: Dioritas, Monzodioritas, Tonalitas-Granodioritas y Monzogranitos en la zona de Canchete.
2. A través del estudio petrográfico y geoquímico se pudo determinar que las rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya presentan un carácter calco-alcalino (serie shoshonítica).
3. El proceso genético por el cual se han originado las rocas de la Superunidad Linga y Tiabaya ha sido de cristalización fraccionada.
4. El ambiente tectónico está relacionado con zonas de subducción.
5. La minería que se desarrolla en las zonas de Cobrepampa y Canchete básicamente es de carácter informal, algunos sectores en Canchete están cubiertos por la gran Minería.
6. La Superunidad Linga es la que lleva el control litológico en la zona de Cobrepampa, con estructuras de rumbo andino (NO-SE) básicamente donde la mineralización está representada por vetas de cobre en tres zonas de mineralización (Oxidación, Enriquecimiento secundario e Hipógena). La Superunidad Tiabaya es la que lleva el control litológico en la zona de Canchete presentando un fuerte fallamiento con sistemas de orientación NO-SE y E-O donde se forman interesantes trampas estructurales. El Cuarzo aurífero es el que lleva el control mineralógico en esta zona donde como excepción se consideran a los monzogranitos que albergan mineralización de Cu.
7. Los mejores valores en las menas de Cu se ven reflejadas en los Monzogranitos Linga, mientras que los de Au se encuentran en las Dioritas Tiabaya.
8. Se recomienda un análisis más profundo en las rocas anteriormente mencionadas para establecer nuevas zonas de prospección a la escala en que trabajan los PPM y PMA.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J. Quispe, J. Rivera, R. Valencia, M. Chirif, H. Huanacuni, D. Rodriguez, I. Villarreal, E. Paico, D. Santisteban, A. (2011) Mapa metalogénico del Perú 2011: Memoria. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima 17 p
- Agar, R & Le Bel, L. (1985). The Linga supr-unit: high-k diorites of the Arequipa segment. Magmatism at a plate edge. The Peruvian Andes. New York. pp. 119-127
- Agar, R. (1978). The peruvian coastal batholith: its monzonitic rocks and the related mineralization, the geology of the río Pisco, a sector of the Arequipa segment of the coastal batholith. University of Liverpool. Liverpool. 261 p.
- Agar, R. (1979). La mineralización de cobre y la Superunidad Linga del Batolito de la Costa. Sociedad Geológica del Perú. Boletín. Lima. pp. 4-62
- Araña, V (1984). Volcanología. Ed. Rueda, Madrid. 510 pp.
- Atherton, M & Sanderson, M. (1985). The chemical variation and evolution of the super units of the segmentd coastal batholith. Magmatism at a plate edge. The Peruvian Andes. New York. pp. 208-227
- Atherton, M. (1984). The coastal batholith of Peru. Shiva Publications. London. 1984. pp.168-179
- Atherton, M. (1990). The Coastal Batholith of Peru: the product of rapid recycling of "new" crust formed within rifted continental margin. Geological Journal John Wiley & Sons. Chichester. pp. 337-349
- Beckinsale, R. Sánchez, A. Brook, M. Cobbing, E. Taylor, W. Moore, N. (1985). Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the coastal batholith of Peru. John Wiley & Sons. New York. pp 177-202
- Belousov, V. (1971). Problemas básicos de Geotectónica. Ediciones Omega. Barcelona. 854 p.
- Boily, M. Brooks, C & James, D. (1984). Geochemical characteristics of the late Mesozoic Andean volcanics. Shiva Publishing. pp. 190-202

- Boily, M. Brooks, C. Ludden, J. James, D. (1989). Chemical and isotopic evolution of the Coastal Batholith of Southern Peru. American Geophysical Union. Washington D.C. pp 12483-12498
- Borkowski, E. (1970). Der Acarí-Pluton (Perú) als Beispiel der Differentiation des tonalitischen Magmas (miteinem Anhang über die ihndurchquerenden Stöcke und Gänge. Springer-Verlag. Berlín pp. 1141-1179
- Bussell, M. (1975). The structural evolution of the coastal batholith in the provinces of Ancash and Lima, Central Perú. Doctor en Filosofía. University of Liverpool. Liverpool. 375 p.
- Bussell, M. (1976). Fracture control of high-level plutonic contacts in the coastal batholith of Peru. Proceedings of the Geologists' Association. London. pp. 237-246
- Caldas, J. (1978). Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n.30. Lima. 78 p.
- Ccallo, W. Mamani, M. Acosta, H. Rodriguez, J. Cutipa, M. (2012). Petrogénesis de las rocas intrusivas del Grupo Casma (145-105 Ma) segmento Acarí, San Juan de Marcona. Sociedad Geológica del Perú. Lima. 5 p
- Chiara, J. (2008). Características geoquímicas y geocronología del magmatismo calcoalcalino, alteración hipógena y supérgena de los pórfidos del sur del Perú. Universidad Nacional de San Agustín. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. Arequipa. 168 p.
- Choquehuanca, S (2014) Vulcanismo Monogenético del Perú Central: Ayacucho y Huancavelica definiendo límites de Litósfera Subcontinental. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. 112 p.
- Cobbing, E. (1998). The coastal batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. Sociedad Geológica del Perú. Lima. pp. 5.20
- Cobbing, E. Pitcher, W. Taylor, W. (1977). Segments and super-units in the coastal batholith of Peru. University of Chicago Press. Chicago, Illinois. pp 625-631
- Cuéllar, J (2014). Evolución Magmática-Hidrotermal del Sistema Pórfido-Skarn Paraíso y su relación con la mineralización de Cu-Mo, Batolito de Andahuaylas Yauri, Apurímac, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 136 p.
- Díaz, G. Milla, D. (2003). Revisión y actualización de los cuadrángulos de Jaquí (31-ñ), Coracora (31-o), Chala (32-ñ) y Cháparra (32-o). INGEMMET. Lima. 54 p.

- Dirección de Geología Económica y Prospección Minera (2002). Estudio de Los Recursos Minerales del Perú Franja N°2.INGEMMET. Boletín N°11 Serie B: Geología Económica. Lima. 383 p
- Dirección de Geología Económica y Prospección Minera (2003). Estudio de Los Recursos Minerales del Perú Franja N°3.INGEMMET. Boletín N°12 Serie B: Geología Económica. Lima. 413 p
- Fernández, S &Hernández, A. (1991) Cálculos y diagramas geoquímicos. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 334 p.
- Galoso, A. &Sanchez J. (1997). Proyecto MAPEM (Minería Artesanal y Pequeña Minería) Sub proyecto Ica-Arequipa: Reconocimiento Geológico-Minero de la Franja Aurífera Nasca-Ocoña. InstitutoGeológicoMinero y Metalúrgico. Lima. 30p
- Hudson, C. (1974). Metallogenesis as related to crustal evolution in southwest Central Peru.Doctor in Philosophy.University of Liverpool.Liverpool.246 p.
- Injoque, J. (2002). Yacimientos de óxido Fe-Cu-Au en el Perú, una visión integral. Sociedad Geológica del Perú. Congreso Peruano de Geología 11. Lima. pp. 429-448
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2005). Minería a Pequeña Escala en la costa sur media del Perú. INGEMMET. Lima. 79 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (1995). Geología del Perú. INGEMMET. Boletín N°55. Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima. 161 p
- IV Congreso Peruano de Geología. (1978): Temas Centrales: Bases y normas para clasificaciones de rocas-Petrografía del Perú-Clasificación y Normas petrográficas-Batolito de la Costa y su caja. SociedadGeológicadel Perú. Lima
- Jenks, W & Harris, G. (1953).Plutonics near Arequipa as a petrologic sample of the Coastal batholith in Perú.Sociedad Geológica del Perú, Boletín. Lima. pp. 79-94
- Jenks, W. (1948). Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. Geology of the Arequipa Quadrangle of the Carta Nacional del Perú. Instituto Geológico del Perú, Boletín. Lima. 204 p.
- Kay, S &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.
- Lavado, M. (1973) Geología Económica de la Mina "La Argentina"-Cobrepampa-Acarí.Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 55 p.

- Le Maitre, R. Streckeisen, A. Zanettin, B. Le Bas, M. Bonin, B. Bateman, P. Bellieni, G. Dudek, A. Efremova, S. Keller, J. Lameyre, J. Sabine, P. Schid, R. Sorensen, H. Woolley, A. (2002). *Igneous rocks; a classification and glossary of terms; recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press. Cambridge. 236 p
- León, W & Torres, V (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Punta Grande(29-k), Ica(29-I), Lomitas(30-I), Palpa(30-m), San Juan(31-m), Acarí(31-n) y Yauca(32-n). INGEMMET. Lima. 26 p.
- Loaiza, E. Zárate, H. Galloso, A. (2008). Mineralización y explotación minera artesanal en la costa sur media del Perú. INGEMMET. Lima. 79 p.
- López, J & Cebriá, J (1990) *Geoquímica de los Procesos Magmáticos*. Madrid, Ed. Rueda. 168 pp.
- Loza, D. (2002). Petrografía y Lito-Geoquímica del Grupo Barroso en los cuadrantes NE y SE del Cuadrángulo de Puno(Hoja32-v). Universidad Nacional del Altiplano. Puno. 68 p
- Mamani, M & Rivera, F. (2011). Sistema de fallas Iquipi - Clavelinas: zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales .Sociedad Geológica del Perú. Lima. pp. 37-50
- Mantle, G & Collins, W (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *Geology*, v 36. p 87-90
- Martínez, P. (1996). Yacimientos auríferos relacionados al Batolito de la Costa en la franja Nasca-Ocoña, Ica y Arequipa) .Sociedad Nacional de Minería y Petróleo. Segundo Simposium Internacional del Oro. Lima. pp.289-297
- Martinez, W. & Cervantes, J. (2003). Rocas ígneas en el sur del Perú: nuevos datos geocronométricos, geoquímicos estructurales entre los paralelos 16° y 18°30' Latitud Sur. INGEMMET. Boletín. Serie D : Estudios Regionales. Lima. 140 p
- Mason, H. (1985). The mineralogy and textures of coastal batholith Peru. *Magmatism at a plate edge*. The Peruvian Andes. New York. pp.156-166
- McDonough, W & Sun, S (1995). The composition of the Earth *Chem. Geol* v 120. Elsevier. pp 223-253
- McCourt, W & Taylor, W (1978). La Geoquímica de los magmas del batolito de la costa. Sociedad Geológica del Perú. Boletín. Lima. pp 167-180

- Moore, N. (1985). Variations along a batholith: the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru. John Wiley & Sons. New York. pp. 108-118
- Moore, N. (1979). The geology and geochronology of the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru. University of Liverpool. Liverpool. 505 p.
- Mullan, H. & Bussell, M. (1980). The basic rock series in batholith associations. Cambridge University Press. London. pp. 265-280
- Muñiz, J. (2007). Aspectos Generales de la Minería Artesanal en la región Arequipa. Colegio de Ingenieros del Perú. Arequipa. 46 p.
- Núñez, F., Condori, A. & Jara, M. (1994). Características Metalogenéticas de la mineralización aurífera asociada al segmento sur del Batolito de la Costa (Nasca-Ocoña). Sociedad Geológica del Perú. Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos. Lima. pp. 26-29
- Olchanski, E. (1980). Geología de los cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Cháparra. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 34. Lima. 69 p.
- Peccerillo, R. & Taylor, S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastmonuárea, northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol. Vol 58. p 63-81
- Pitcher, W. (1972). The coastal batholith of Peru: some structural aspects. International Geological Congress, 24. Section 2, pp. 156-1
- Pitcher, W. (1981). The coastal batholith of Peru in the three dimensions: a synopsis. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Heidelberg. pp. 268-271
- Pitcher, W., Atherton, M., Cobbing, E., Beckinsale, R. (1985). Magmatismo en el borde de una placa, Los Andes Peruanos. British Geological Survey. Lima. 359 p.
- Quispe, M. & Rivera, H. (2013). Correlación Geoquímica de Eventos Ígneos en el Proyecto Esperanza Distrito Bolognesi Departamento Ancash. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Vol 15, n°32. Lima. 13 p.
- Rankama, S. (1954). Geoquímica. Aguilar S.A Ediciones. Madrid. 862 p.
- Regan, P. (1976). The genesis and emplacement of mafic plutonic rocks of the coastal batholith, Lima Province, Peru. Doctor in Philosophy. University of Liverpool. 186p.
- Rivera, H. (2007). Introducción a la geoquímica general y aplicada. Gráfica Retai. 2da edición. Lima. 475 p.

- Rivera, R. (2004) Prospección Geoquímica en el cuadrángulo de Chiquián (21-i). INGEMMET. Piura. 222 p.
- Rollinson, H (1993). Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific & Technical. Essex. 352 p.
- Romeuf, N. Soler, P. Jaillard, E. Aguirre, L. Féraud, G. Ruffet, G (1995). Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. *Revista Geológica de Chile*, v. 22n.2. pp. 244 – 259.
- Roperch, P. Sempere, T. Macedo, O. Arriagada, C. Fornari, M. Tapia, C. García, M. Laj, C. (2006) Counterclockwise rotation of late Eocene-Oligocene fore-arc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the Central Andes. *American Geophysical Union*. 29 p.
- Rubiolo, D. Hickson, C. Busteros, A. Villeneuve, M. Edwards, B (2000). Petrología del Cerro Morocho: Volcán del mioceno Superior en ambiente glacial? (Valle de Chaschuil, Catamarca, Argentina). IX Congreso Geológico Chileno, pp. 329 – 333
- Santos, J. (2009) Controles Geológicos-Estructurales de la mineralización aurífera en el sistema de vetas de la mina Orión Chala-Arequipa. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. 99 p.
- Soler, P. (1990). Cronología y distribución espacial del magmatismo en el Perú central durante el Cretácico superior y el Cenozoico-relaciones con modalidades de la subducción de la placa de Nazca (Farallón) debajo del continente sudamericano. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín*. Lima. pp 81-86
- Vargas, A (1978). Estudio Geológico Minero de la Faja Aurífera Nazca-Ocoña. INGEMMET. Lima. 188 p
- Vásquez, R (2009). Distribución geoquímica de tierras raras y otros elementos en la franja polimetálica 9°-10°S del Perú Central. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima. 195 p.
- Vatin-Perignon, N. Popeau, G. Oliver, R.A. Lavenu, A. Labrin, E. Keller, F. And Bellot-Gurlet, L (1996). Trace and rare-earth element characteristics of acidic tuffs from Southern Peru and Northern Bolivia and a fission-track age for the Sillar of Arequipa. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 9, nrs. ½, pp. 91 – 109.