

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA Y SU RELACIÓN CON LA  
MINERALIZACIÓN DE LAS UNIDADES INTRUSIVAS DEL  
SEGMENTO JAEN – SAN IGNACIO DE LA CORDILLERA  
OCCIDENTAL ZONA NORTE (REGIÓN DE CAJAMARCA)”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. EDWIN ADERLY VASQUEZ CHOQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUIMICA Y SU RELACIÓN CON LA  
MINERALIZACIÓN DE LAS UNIDADES INTRUSIVAS DEL  
SEGMENTO JAEN – SAN IGNACIO DE LA CORDILLERA  
OCCIDENTAL ZONA NORTE (REGIÓN DE CAJAMARCA)”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. EDWIN ADERLY VASQUEZ CHOQUE**

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

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE:**

  
M. Sc. Ing. ARIEL PEPE AQUINO PACHECO

**PRIMER MIEMBRO:**

  
Ing. GEORGES FLORENCIO LLERENA PEREDO

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
M. Sc. Ing. ROGER GONZALES ALIAGA

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
Ing. LUIS VICENTE ORTIZ GALLEGOS

Área: Geología de Mina.

Tema: Caracterización Litogeoquímica y su relación con la Mineralización de las unidades intrusivas.

Tesis sustentada: 26 de Diciembre del 2017



## DEDICATORIA

*A Dios por ser mi guía espiritual y a mis padres Florencia Choque Cucho, Alejandro Vasquez Garcia por ser mi fuente de vida e inspiración de lucha incalculable, valentía, superación constante, a mis hermanos Liseth, Mirian y Jeffer, con amor y gratitud, por motivarme y darme la fortaleza para lograr este objetivo.*

*A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.*

**Edwin A. Vasquez Choque**

## AGRADECIMIENTOS

Agradesco al Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), rector de la Geología en el País y promotor de la investigación, por haberme permitido realizar este proyecto de investigación y haberme brindado desmerecidamente la calidad laboral en estos años de servicio en la institución. Asimismo, a la Ing. Susana Vilca Achata, Ex – Presidenta del consejo Directivo del INGEMMET en su calidad de representante de la alta dirección por su humilde y valiosa labor en el desarrollo científico nacional.

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

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

Al Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos, Director de Tesis, por su revisión, observaciones y críticas realizadas para la mejora y presentación de la tesis realizada.

A mis Docentes Universitarios de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por su invertir su tiempo en los claustros de enseñanza.

A mi compañera, amiga de grandes restos, por estar siempre brindándome la fuerza que en momentos se desvanecía en mi, al cual yo admiro mucho Yesenia Cruz Calizaya

A mis compañeros de trabajo My Lin Chong Kan, Monica Vera Holgado, Luz marina Villalobos, Denis Cahuana Sairitupa, Alex Alejos Yanac.

Asimismo, quiero escribir estas significativas palabras de agradecimiento profundo al Ing. Michael Valencia Muñoz, Ing. Victor Lozada Valdivia, por ser los principales promotores y guía profesional de la presente tesis, por sus enseñanzas impartidas tanto en gabinete como en campo, por brindarme sus conocimientos, opiniones y sugerencias, su incalculable labor al frente de la prospección geoquímica y actualización de Metalogenia del territorio Peruano.

**INDICE GENERAL**

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
INDICE DE FIGURAS .....	VII
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FOTOS.....	IX
INDICE DE ACRONIMOS .....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII

**CAPÍTULO I****INTRODUCCION**

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.1.Problemas.....	3
1.1.2.Problemas Especificos .....	3
1.2.HIPOTESIS .....	3
1.3.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1.Objetivo General .....	3
1.3.2.Objetivos Especificos.....	3

**CAPÍTULO II****REVISION DE LITERATURA**

2.1.MARCO TEORICO.....	4
2.2.BASES TEORICAS.....	4
2.2.1.GEOQUIMICA .....	4
2.2.2.COMPOSICIÓN QUIMICA DE LA CORTEZA.....	5
2.2.3.CLASIFICACIÓN GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS.....	9
2.2.4.GEOQUIMICA MAGMATICA.....	14
2.2.5.CONTEXTO GEOTECTONICO .....	20
2.2.6.GEOQUIMICA DE LOS ANALISIS DE ROCA TOTAL .....	27

2.3.MARCO CONCEPTUAL.....	31
2.4.GLOSARIO.....	33

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y METODOS

3.1.METODOLOGIA.....	35
3.2.METODO DESCRIPTIVO.....	36
3.3.PASOS METODOLOGICOS .....	36
3.4.CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN .....	38
3.4.1..HIDROGRAFIA. ....	40
3.4.2.CLIMA Y VEGETACIÓN. - .....	42
3.4.3.GEOMORFOLOGIA .....	43
3.4.4.UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.....	43
3.4.5.GEOLOGIA REGIONAL.....	48
3.4.6.ROCAS INTRUSIVAS.....	60
3.4.7.DOMINIOS TECTONICOS .....	64
3.4.8.GEOLOGIA ESTRUCTURAL .....	73
3.4.9.ESTUDIO PETROGRAFICO Y MINERALOGICO.....	79

### CAPÍTULO VI

#### RESULTADO Y DISCUSION

4.1.LITOGEOQUIMICA DE LOS INTRUSIVOS DEL SEGMENTO.....	89
4.2.COMPOSICION QUIMICA DE LAS ROCAS. ....	90
4.2.1.ELEMENTOS MAYORES. ....	90
4.2.2.ELEMENTOS TRAZA.....	99
4.2.3.TIERRAS RARAS (REE).....	101
4.3.ELEMENTOS COMPATIBLE E INCOMPATIBLES .....	102
4.4.OCURRENCIA DE MINERALES RELACIONADO A LA GEOQUIMICA DE ROCAS. ....	112
4.5.GEOLOGIA ECONOMICA .....	115
4.6.CONSIDERACIONES METALOGENÉTICAS.....	117

4.7.LITOLOGICO.....	119
4.8.FRANJAS METALOGENETICAS.....	126
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>
ESTUDIOS PETROGRAFICOS Y BASE DE DATOS.....	133

## INDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
FIGURA N° 1 :	ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA TERRESTRE .....	8
FIGURA N° 2 :	GENERACIÓN DE PROCESOS MAGMÁTICOS .....	20
FIGURA N° 3 :	AMBIENTES DE GENERACIÓN DE MAGMAS.....	21
FIGURA N° 4 :	MAGMATISMO DE PLACAS CONVERGENTES.....	22
FIGURA N° 5 :	MAGMATISMO DE PLACAS DIVERGENTES O MÁRGENES CONSTRUCTIVOS .	22
FIGURA N° 6 :	MAGMATISMO EN BORDES DE PLACAS TRANSFORMANTES.....	23
FIGURA N° 7 :	MAGMATISMO EN INTRAPLACA CONTINENTAL.....	23
FIGURA N° 8 :	LA NATURALEZA GEOQUÍMICA Y LOS AMBIENTES GEOTECTÓNICOS.....	26
FIGURA N° 9 :	AMBIENTES GEOTÉCNICOS Y EL TIPO DE MAGMATISMO .....	26
FIGURA N° 10 :	ESQUEMA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.....	37
FIGURA N° 11 :	DIAGRAMA DE R1 vs R2 .....	92
FIGURA N° 12 :	DIAGRAMA DE TAS-TOTAL ÁLCALIS vs SÍLICE .....	93
FIGURA N° 13 :	DIAGRAMA DE ÍNDICE DE SATURACIÓN DE ALÚMINA (SHAND, 1968). ...	95
FIGURA N° 14 :	DIAGRAMA DE CRISTALIZACIÓN DE FELDESPATOS .....	96
FIGURA N° 15 :	DIAGRAMA DE ENRIQUECIMIENTO DE K .....	97
FIGURA N° 16 :	DIAGRAMA DE SiO <sub>2</sub> vs FeO TOTAL.....	97
FIGURA N° 17 :	DIAGRAMA HARKER .....	100
FIGURA N° 18 :	DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZAS.....	104
FIGURA N° 19 :	DIAGRAMA DE ORIGEN DE LOS GRANITOS Y vs Nb. (QUISPE&RIVERA, 2013).....	105
FIGURA N° 20 :	DIAGRAMA DE VARIACIÓN Rb vs V(QUISPE & RIVERA, 2013).....	106
FIGURA N° 21 :	DIAGRAMA DE VARIACIÓN V vs Zr. (QUISPE & RIVERA, 2013). .....	106
FIGURA N° 22 :	DIAGRAMAS DE RAZONES DE ELEMENTOS TRAZA .....	108
FIGURA N° 23 :	DIAGRAMA DE PROFUNDIDAD DE GENERACIÓN DEL MAGMA.....	109
FIGURA N° 24 :	DIAGRAMA DE MANTO PRIMITIVO-MULTIELEMENTALADOPTADO DE ..	111
FIGURA N° 25 :	DIAGRAMA DE TIERRAS RARAS .....	112
FIGURA N° 26 :	DIAGRAMA DE PROVENIENCIA DEL MAGMA Ce vs Ce/Y. (QUISPE & RIVERA, 2013). .....	113
FIGURA N° 27 :	DIAGRAMA DE TIPO DE MAGMA Sr/Y vs Eu/Eu* .....	114
FIGURA N° 28 :	DIAGRAMA DE OXIDACIÓN VS EL CONTENIDO DE AGUA Eu/Eu* vs FeO TOTAL.....	115



## INDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
<b>TABLA N° 1:</b>	<b>DISTRIBUCIÓN DE LOS CONSTITUYENTES MAYORITARIOS DE LA CORTEZA.</b>	6
<b>TABLA N° 2:</b>	<b>ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA CORTEZA TERRESTRE EN PPM.....</b>	7
<b>TABLA N° 3:</b>	<b>COMPOSICIÓN DE ROCAS ÍGNEAS EN (%) DE MASA. ....</b>	8
<b>TABLA N° 4:</b>	<b>CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS ELEMENTOS SIDEROFILOS, (MAMANI, 2014). ....</b>	10
<b>TABLA N° 5:</b>	<b>CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS ELEMENTOS CALCÓFILOS. (RIVERA, 2014).....</b>	10
<b>TABLA N° 6:</b>	<b>CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS ELEMENTOS LITÓFILOS.(MAMANI, 2012).....</b>	11
<b>TABLA N° 7:</b>	<b>CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DE ELEMENTOS ATMÓFILOS. (RIVERA, 2014).....</b>	12
<b>TABLA N° 8:</b>	<b>COMPOSICIÓN MEDIA DE LOS MAGMAS. (HOYOS, A, 1947) .....</b>	15
<b>TABLA N° 9:</b>	<b>VALORES DE LOS OXIDOS. (RIVERA, 2014). ....</b>	15
<b>TABLA N° 10:</b>	<b>AMBIENTES GEOTÉCNICOS Y EL TIPO DE MAGMATISMO. (RIVERA, 2014). 25</b>	
<b>TABLA N° 11:</b>	<b>RESUMEN DE ESQUEMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS USANDO ELEMENTOS MAYORES.....</b>	30
<b>TABLA N° 12:</b>	<b>CICLOS OROGENICO, (MODIFICADO RIVERA. 2014) .....</b>	62
<b>TABLA N° 13:</b>	<b>UNIDADES LITOLÓGICAS DEL TERRENO LOJA-OLMOS .....</b>	66
<b>TABLA N° 14:</b>	<b>RELACIÓN DE MUESTRAS. (VASQUEZ, 2017) .....</b>	87
<b>TABLA N° 15:</b>	<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS TIERRAS RARAS .....</b>	102
<b>TABLA N° 16:</b>	<b>CUADRO DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZAS .....</b>	103
<b>TABLA N° 17:</b>	<b>RESULTADO DE VALORES DE LA MUESTRA 13F-R-011.....</b>	119
<b>TABLA N° 18:</b>	<b>RESULTADO DE VALORES DE LA MUESTRA 13F-R-012.....</b>	122
<b>TABLA N° 19:</b>	<b>RESULTADO DE VALORES MUESTRA 12E-R-001 .....</b>	123
<b>TABLA N° 20:</b>	<b>RESULTADO DE VALORES DE LAS MUESTRAS 11E-R-014, 11E-R-015....</b>	124
<b>TABLA N° 21:</b>	<b>RESULTADO DE VALORES DE LA MUESTRA 11E-R-013 .....</b>	125

## INDICE DE FOTOS

N°	Descripción	Pág.
FOTO N° 1 :	MAPA DE UBICACIÓN DEL SEGMENTO DE ESTUDIO .....	39
FOTO N° 2 :	VISTA DEL RÍO TABACONAS .....	40
FOTO N° 3 :	MAPA HIDROGRÁFICO DEL SEGMENTO DE ESTUDIO .....	41
FOTO N° 4 :	VISTA TOMADA FRENTE AL PUEBLO SIETE DE AGOSTO .....	43
FOTO N° 5 :	VISTA DEL VALLE DEL RIO CHAMAYA.....	45
FOTO N° 6 :	MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLOGICAS DEL SEGMENTO DE ESTUDIO .....	47
FOTO N° 7 :	ALTERACIÓN HIDROTHERMAL DEL TIPO ARGÍLICA DEL VOLCÁNICO OYOTÚN. .....	49
FOTO N° 8 :	CONTACTO ENTRE LA FORMACIÓN CHULEC Y EL GRUPO GOYLLARISQUIZGA. .....	50
FOTO N° 9 :	AFLORAMIENTO DE CALIZAS FM. PARIATAMBO (KS-P).....	51
FOTO N° 10 :	AFLORAMIENTO GRUPO PULLUICANA, RIO CHAMAYA.....	52
FOTO N° 11 :	AFLORAMIENTO GPO. QUILQUIÑÁN DE MARGAS INTERCALADAS.....	53
FOTO N° 12 :	AFLORAMIENTO FORMACIÓN CHOTA (KSP-CH).....	54
FOTO N° 13 :	QUEBRADA PAPAYAL, AFLORAMIENTO DE ARENISCAS DE COLOR AMARILLENTO. ....	55
FOTO N° 14 :	AFLORAMIENTO FORMACIÓN BELLAVISTA (N-BE).....	56
FOTO N° 15 :	AFLORAMIENTO FORMACIÓN TAMBORAPA (NQ-TA).....	56
FOTO N° 16 :	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	58
FOTO N° 17 :	MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	59
FOTO N° 18 :	ESQUEMA DE LOS DOMINIOS LITOTECTONICOS DEL SUR DEL ECUADOR. ...	64
FOTO N° 19 :	MAPA DE UNIDADES INTRUSIVAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	71
FOTO N° 20 :	MAPA DE DATAIONES RADIOMETRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	72
FOTO N° 21 :	ESTRUCTURA AFLORANTE EN LA LOCALIDAD EL RECODO .....	76
FOTO N° 22 :	AFLORAMIENTO DE ESTRUCTURA EN LA COMUNIDAD DE SUPAYACU.....	76
FOTO N° 23 :	MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	77
FOTO N° 24 :	MAPA DE LINEAMIENTOS REGIONALES.....	78
FOTO N° 25 :	MAPA DE ANOMALIAS ESPECTRALES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	81
FOTO N° 26 :	MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	88
FOTO N° 27 :	MAPA FRANJAS METALOGENETICAS Y UBICACIÓN DE DEPOSITOS .....	118
FOTO N° 28 :	TOMA DE DATOS ESTRUCTURALES .....	120

<b>FOTO N° 29 : MUESTRA CON CARBONATOS DE COBRE (MALAQUITA, CRISOCOLA),....</b>	120
<b>FOTO N° 30 : CODIFICACIÓN RESPECTIVA DE LA OCURRENCIA .....</b>	120
<b>FOTO N° 31 : AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA GRANJA.....</b>	122
<b>FOTO N° 32 : DIQUE CON ROCA CAJA ROCA – MARGA.....</b>	123
<b>FOTO N° 33 : MUESTRA TOMADA DEL INTRUSIVO ALTERADO, ROCA GRANÍTICA.....</b>	124
<b>FOTO N° 34 : AFLORAMIENTO DE ROCA GRANODIORITA GNESIFICADA.....</b>	125
<b>FOTO N° 35 : MUESTRA CON PRESENCIA DE GALENA (GLN), PATINAS DE OXIDOS DE HIERRO (FE).....</b>	125

**INDICE DE ACRONIMOS**

<b>INGEMMET</b>	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<b>CEE</b>	Constituyentes Estructurales Esenciales
<b>LILE</b>	Large Ion Lithophile Elements
<b>HFSE</b>	High Field Strength Elements
<b>MORB</b>	Mid Oceanic Ridge Basalts
<b>OIB</b>	Oceanic Island Basalts
<b>OIT</b>	Oceanic Island Toleitias
<b>OIA</b>	basaltos alcalinos
<b>CFB</b>	Continental Flood Basalts
<b>RXF</b>	Fluorescencia de Rayos X para elementos mayores
<b>ICP-MS</b>	Espectrometría de Masas: Plasma Acoplado por Inducción
<b>LREE</b>	Tierras Raras Litológicas
<b>MREE</b>	Tierras Raras Intermedias
<b>HREE</b>	Tierras Raras Pesadas
<b>ANAPS</b>	Áreas de No Admisión de Denuncias Mineros

## RESUMEN

El área de estudio se encuentra localizada en el departamento de Cajamarca comprende el segmento Jaen-San Ignacio con una extensión aproximadamente de 7328 Km<sup>2</sup>.

El objetivo fue de establecer parámetros petrográficos y firmas geoquímicas entre los intrusivos, La Granja, Chillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite y Pomahuca, en base al estudio litogeoquímico y de análisis con secciones delgadas y pulidas, para contribuir al conocimiento de las características geoquímicas de los cuerpos ígneos mencionados.

La metodología consiste en recolección de 40 muestras. Se hizo la selección de 20 muestras de roca total, 20 muestras para secciones delgadas y pulidas.

Con el uso de imágenes satelitales Landsat B4, Aster B3, Filtros Direccionales (N-S, NO-SE, NE-SO y E-O) y 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 este definido básicamente por las rocas intrusivas La Granja con una edad datada de 13.8 Ma, Chillasque con una edad de 23.5 Ma, Las Colmenas con una edad que oscila entre 37.7 a 47.6 Ma, Paltashaco, Rumipite oscila en una edad de 106 a 122 Ma y Pomahuca que son limitadas por las fallas regionales de dirección NNO-SSE Y NNE-SSO.

La petrografía nos indico que el intrusivo La Granja tiene una facie litológica (Porfido cuarcifero), Chillasque presenta 02 facies litológicas (Tonalitas, Porfido andesita), Las Colmenas presenta 4 facies litológicas (Granodiorita porfirítica, Granodiorita, Monzogranito, Granito), Paltashaco presenta 2 facies litológicas (Granito, Metadiorita), Rumipite presenta 5 facies litológicas marcadas (Tonalita, Diorita, Granodiorita, Andesita y Cuarzo Monzonita) y el intrusivo Pomahuca presenta 3 facies litológicas (Plagiogranito, Monzogranito, Dacita) cada una de estas con características propias y peculiares.

El estudio litogeoquímico nos indico que el intrusivo La Granja tiene una facie litológica (Granodiorita Cuarsifero), Chillasque presenta 02 facies litológicas (Granodioritas, Tonalitas), Las Colmenas presenta 4 facies litológicas (Granodiorita, Tonalita, diorita y diorita porfirítica), Paltashaco presenta 2 facies litológicas (granito, granodiorita), Rumipite presenta 5 facies litológicas marcadas (Tonalita, Diorita) y el intrusivo Pomahuca presenta 3 fases litológicas (Andesita, Dacita) con características propias.

El estudio litogeoquímico determino que son rocas calco alcalinas con rangos de 55 a 70 wt% de sílice y se encuentran en un ambiente transicional a potásico. Dichos intrusivos presentan controles de mineralización, mientras para el intrusivo La Granja Cu, para intrusivo Chillasque para Cu, Pb, Zn Intrusivo, intrusivo las Colmenas para Mo, Zn, Pb, Paltashaco Cu, Mo y W, Rumipite es para el Cu, Au, intrusivo Pomahuca para Mo.

**Palabras Clave:** Intrusivo, Cristalización, Normalización, Mineralización, Petrografía, Petromineralogía, Litogeoquímica.

## ABSTRACT

The study area is located in the department of Cajamarca comprises the segment Jaen-San Ignacio with an extension of approximately 7328 Km<sup>2</sup>.

The objective was to establish petrographic parameters and geochemical signatures between the intrusives, La Granja, Chillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite and Pomahuca, based on the litogeoquimico study and analysis with thin and polished sections, to contribute to the knowledge of the geochemical characteristics of the igneous bodies mentioned.

The methodology consists of collecting 40 samples. The selection of 20 samples of total rock, 20 samples for thin and polished sections was made.

With the use of satellite images Landsat B4, Aster B3, Directional Filters (NS, NO-SE, NE-SO and EO) and model of shadows were realized the structural interpretations and the lithological discrimination of the existing facies in the area of study.

The Regional Geological Context is basically defined by intrusive La Granja rocks with an age of 13.8 Ma, Chillasque with an age of 23.5 Ma, Hives with an age ranging from 37.7 to 47.6 Ma, Paltashaco, Rumipite oscillates at an age of 106 to 122 Ma and Pomahuca that are limited by the regional NNO-SSE and NNE-SSO steering failures.

The petrography shows that the intrusive La Granja has a lithologic facie (Porfido quartzero), Chillasque presents 02 lithologic facies (Tonalitas, Porfido Andesita), the Hives presents 4 lithologic facies (Granodiorite porfirítica, Granodiorite, Monzogranite, Granite), Paltashaco presents 2 (Tonalite, Diorite, Granodiorite, Andesite and Monzonite quartz), and the intrusive Pomahuca presents 3 lithologic facies (Plagiogranite, Monzogranite, Dacite), each with its own peculiar characteristics .

The lithogeochemical study indicates that the intrusive La Granja has a lithologic facie (Granodiorite cuarsifero), Chillasque presents 02 lithologic facies (Granodiorites, Tonalites), the Colmenas presents 4 lithologic facies (Granodiorite, Tonalite, Diorite and Porphyritic Diorite), Paltashaco presents 2 (Granite, Granodiorite), Rumipite presents 5 marked lithologic facies (Tonalite, Diorite) and the intrusive Pomahuca presents 3 lithologic phases (Andesite, Dacite) with their own characteristics.

The litogeoquimico study determined that alkaline calcined rocks with ranges of 55 to 70 wt% of silica and are in a transitional potassium abyss. These intrusives present mineralization controls, where for the intrusive La Granja Cu, for intrusive Chillasque for copper, lead, zinc Intrusive, intrusive hives for molybdenum, zinc, lead, Paltashaco copper, molybdenum and tungsten, Rumipite is for copper, Gold, Pomahuca intrusive for molybdenum.

**Keywords:** Intrusive, Crystallization, Normalization, Mineralization, Petrography, Petromineralogy, Geochemistry.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En la década de 1970, el reconocimiento geoquímico era visto como una herramienta exclusivamente relevante en el mundo de geología económica, sin embargo, en las últimas décadas, se ha reconocido su importancia en la petrogenesis de los materiales rocosos y actualmente en la geología ambiental. El valor del estudio geoquímico como base del desarrollo sostenible ha sido enfatizado por la UNESCO en su publicación de 1995 “A Global Geochemical Data base”, citando que, una base de datos geoquímicos de alta calidad es pertinente para una gran variedad de investigaciones de las Ciencias de la Tierra y de la Vida y debería ser considerado como componente esencial del conocimiento geológico y ambiental.

Los trabajos en los últimos años de litogeoquímica de elementos mayores y traza en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) – a contribuido en ordenar los grupos de rocas en base a dataciones radiométricas y variaciones geoquímicas en el tiempo y espacio de los tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, a partir de este avance se ha empezado a estudiar en detalle la litogeoquímica (geoquímica de rocas) y su relación a las asociaciones de elementos metálicos y tierras raras. Así tenemos algunos trabajos como de Martínez et. al. (2003).

Con el estudio microscópico, una roca queda definida de manera incompleta, debido a que casi todos los minerales admiten considerables sustituciones de otros elementos químicos en su estructura, por tanto, podemos, encontrar rocas de igual composición mineralógica y con una distinta composición química. Por tanto, una roca definida solo por su composición mineralógica o por su análisis químico, está parcialmente definida y es conveniente tener los dos datos. El mismo análisis químico es un complemento necesario en la investigación petrográfica.

Los diagramas en los que se presentan de manera practica el quimismo de una roca o una serie de rocas, sirven no solamente para darnos una idea de la composición química de una roca determinada, sino también en la variación del quimismo y relacionarlo con el proceso de cristalización o evolución de las series (Fernández y Hernández, 1991). Además, para conocer la evolución de los metales en el tiempo y averiguar la dispersión geoquímica de los elementos.

Los resultados de esta investigación conllevaran al conocimiento de variabilidad química de estos intrusivos y la abundancia de elementos traza petrogénicos y su interés económico en la zona de estudio.



Los estudios geológicos que incluyen la información geoquímica han cambiado los conceptos sobre el origen de los materiales ígneos y su desarrollo a través del tiempo, con los estudios geoquímicos y radiométricos se han desarrollado y ampliado los parámetros de posición y evolución magmática, sobre todo por análisis geoquímicos de elementos mayores, menores, traza y tierras raras (REE) realizados en unidades litológicas.

El problema a resolver usando litogeoquímica en base a los análisis de los elementos mayores, menores, traza y tierras raras es que la evolución magmática en el Sur y Norte del Perú es bastante compleja, porque en estas regiones interactúan elementos tectónicos globales y magmáticos asociados con distorsiones de la corteza litosférica (Martinez, W. et.al. 2003). Esta tesis de investigación se enfoca principalmente en caracterizar y identificar la composición química de estos intrusivos y su relación que guardan con la mineralización: Granito Paltashaco, Tonalita-diorita Rumipite y Granodiorita-diorita-diorita. Y los volcánicos de Formación Salas, Formación Oyotun en su origen y evolución en el tiempo, espacio y su relación con la mineralización.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la zona de generación de los magmas, la mayoría de estas no llegan directamente a la superficie, si no que se aloja en una cámara magmática relativamente somera (profundidad típica de 1-5 Km). En la cámara, el magma experimenta una serie de procesos que cambian su composición química: por ello esta investigación trata de explicar los cambios químicos tanto en el magma que se cristaliza en profundidad (intrusivos) y los que llegan a superficie (volcánicos).

A partir de solo tres o cuatro tipos de magmas primarios (basálticos toleíticos, basaltos alcalinos, granítico, andesítico). Los procesos de evolución magmática originan varios tipos de magmas diferentes a su vez al enfriarse, estos magmas se convierten en otras tantas rocas ígneas por el ambiente de formación litológica al que atraviesan. Los procesos de evolución magmática como la asimilación de la roca encajante o la mezcla de magmas, pueden hacer que varíen bruscamente la composición de estos.

En zonas de subducción el mecanismo y características del magmatismo dependen del régimen dinámico - térmico que se produce en cada sector del orogeno. De esta manera se presenta la variación de la composición de los magmas desde las zonas internas del orogeno (lado oceánico) hacia las zonas externas (lado continental del arco volcánico) que se conoce como polaridad magmática, que se refiere fundamentalmente a la variación en el contenido de elementos alcalinos, especialmente potasio, de forma que el contenido de este elemento en los magmas emitidos crece desde el lado oceánico hacia el exterior, al perder la profundidad creciente del lugar de origen de los magmas primarios, dicha profundidad parece estar relacionada con la placa que subduce.

De esta manera el ascenso y evolución de un magma, desde su lugar de origen hasta su consolidación, puede durar varias decenas de millones de años, dándose todos los posibles procesos de diferenciación, asimilación y mezcla de magmas, y cuyo resultado final es una gran variedad de rocas ígneas, desde los términos básicos e intermedios: gabro, granodiorita etc., hasta los más ácidos granitos, riolitas, etc. (Anguita, F. et al 1991).



Por ende, esta investigación se plantea como problema principal, explicar en líneas generales la caracterización geoquímica de las rocas ígneas y su relación con la mineralización.

Resulta importante caracterizar geoquímicamente, petrográficamente los 6 intrusivos de la zona de estudio, para determinar el tipo de serie al que pertenecen y su potencial como generador de yacimientos. Se debe tener en cuenta que esta zona cuenta con poca información de depósitos minerales y que nuestro objeto es contribuir con actualización la Metalogenia de esta parte del territorio según sus franjas metalíferas características.

### **1.1.1 Problema**

¿Cuál es la relación que existe entre estos cuerpos plutónicos y volcánicos con la mineralización del área de estudio?

### **1.1.2 Problemas Específicos**

¿Qué características litogeoquímicas tienen los intrusivos?

¿Qué diferencias geoquímicas resaltantes existen de la diferenciación entre intrusivos y volcánicos?

¿Qué relación tienen con respecto al ambiente tectónico en la zona Norte del área de estudio?

## **1.2 HIPOTESIS**

En la zona de estudio se han determinado 6 unidades intrusivas por sus características litológicas, edades y tipo de series, son distintas a la que actualmente se tiene registrada. El estudio de estos cuerpos intrusivos utilizando la geoquímica, petrografía se determino eventos en diferentes tiempos, espacios relacionados al protolito (Complejo metamórfico del Marañón). Los análisis de laboratorio comprobaron, la presencia de valores anómalos de minerales de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, etc. interesantes en la zona de estudio, que darían una relación potencial geológico minero en la región norte de Cajamarca, entonces con esta base se podrán realizar estudios de niveles avanzados.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar la caracterización litogeoquímica, petrográfica de los intrusivos, con la finalidad de determinar el tipo de serie al que pertenecen y evaluar su potencial como generador de yacimientos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el tipo de roca de los intrusivos de la zona de estudio, con el fin de Interpretar la información litológica, geoquímica, estructural, geocronología y petromineralógica suficiente para caracterizar la geología regional.
- Definir una zonación metalogenética y proponer dentro del área de estudio zonas favorables prospectivas para continuar con una etapa más avanzada de exploración.
- Realizar el estudio geoquímico de elementos mayores, elementos traza y tierras raras de los intrusivos y su relación con la mineralización.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MARCO TEORICO

Existen estudios anteriores a escala 1:100 000, como el estudio Geología de la Región de Cajamarca Sociedad Geológica del Perú, vol.30, que definen la geología regional del área de estudio, afloran rocas: granitos, dacitas y andesitas (Benavides, 1956); Asimismo se realizó estudios por (Rivera, L.1980) Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, encontrando evidencias de sus cuatro etapas de deformación. Seguidamente tenemos el estudio Relative motion of the Nazca - Farallón y South American plate since late Cretaceous time. Tectonic de (Pardo-Casas & Molnar 1987), que atribuye las rocas volcánicas se encuentran intensamente relacionadas al proceso dinámico de subducción.

EL último episodio define el principal periodo de formación de los pórfidos y fue caracterizado por un amplio vulcanismo, pero al tratarse de una zona muy interesante, varios estudios se han realizado a una escala muy local, entre los que destaca la tesis doctoral de (Davies; 2002) Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Perú, como también la tesis doctoral de (Longo; 2005). Evolution of Volcanism and Hidrotermal activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú.

Existen también otras publicaciones muy importantes como (Gustafson, 2004). Porphyry-epithermal transition, Cajamarca Región. Northern Perú; (Davies & Willian; 2005) The Galeno and Michiquillay Cu-Au-Mo depósitos: geological description and comparison of miocene porphyry systems in the Cajamarca district, northern Perú, (Pinto; 2002) Transición de un sistema de alta sulfuración a un sistema porfirítico de alto nivel en Kupfertal, distrito minero de Yanacocha, Cajamarca – Perú.

Tomando en consideración el Mapa Metalogenético publicado por INGEMMET 2009, los puntos a estudiar se encuentran ubicados en seis franjas metalogenéticas que se detallarán en el siguiente punto.

#### 2.2 BASES TEORICAS

##### 2.2.1 GEOQUIMICA

Victor M. Goldschmidt 1937, mineralogista-geoquímico suizo, en sus obras Geochemische Verteilungsetze der Elemente (1923-1937), y Grundlagen der

Quantitativen Geochemische (1933-1935). Señala tres tareas fundamentales de la geoquímica (Rivera, H; 2007).

- a. Determinación de las relaciones cuantitativas de los elementos y átomos en las esferas geoquímicas de la Tierra.
- b. Explicación de la distribución de los elementos en las esferas geoquímicas de la Tierra, es decir, en los minerales y las rocas de la litosfera y en los productos naturales de toda clase.
- c. Descubrir las leyes que rigen las relaciones cuantitativas y la distribución de los elementos.

Según Goldschmidt, la geoquímica se puede definir como la << Medición de la abundancia relativa y absoluta de los elementos de las distintas partes de la Tierra, con el objeto de descubrir los principios que gobiernan su distribución y migración por todo el ciclo geológico>>.

Hay muchas definiciones de geoquímica, pero la de Goldschmidt realza dos aspectos:

- a. La distribución de los elementos en la Tierra (descriptivo).
- b. Los principios que gobiernan su distribución (interpretación).

En esencia esta definición explora el ciclo de los elementos en la naturaleza, basada en las propiedades de sus átomos o iones, también considerada la abundancia y distribución de los isotopos, la abundancia y estabilidad del núcleo atómico.

### 2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CORTEZA

La composición química promedio de la corteza, dada por (Ronov et al., 1969), Tabla N°1, muestra efectivamente la importancia del O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, que forman aproximadamente el 99% del total. Es necesario insistir en la importancia del oxígeno, que es el elemento dominante de la corteza consistiendo en cerca del 47% del peso y 93% del volumen; el otro elemento mayor es el silíceo, el cual llega cerca del 28% del peso, pero menor del 1% del volumen debido al tamaño pequeño del átomo del silicio.

Se han considerado solamente los elementos mayoritarios que son los que se determinan comúnmente en los análisis de las rocas (Tabla N°1) y se han omitido los otros elementos que son pocos, pero abundantes, pero que entran en la estructura de muchos silicatos, y entre ellos los feldespatos plagioclasas juegan un papel importante. En líneas generales, la corteza terrestre está formada por completo de compuestos oxigenados, en especial de silicatos de aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro; por ello Goldschmidt, denominó a la litosfera también oxisfera.

Siguiendo a Vernadsky (1924) que denomina, “Clarke” de concentración (en honor a Clarke, F., w.), << al porcentaje de un elemento en la corteza>>, se constató un hecho sorprendente en lo que se refiere a los elementos poco abundantes (Rivera, H; 2007). Los metales cuyos yacimientos son conocidos están, en efecto, menos repartidos que los elementos poco comunes tales como las Tierras Raras. Este hecho significa que ciertos elementos se hallan dispersos en minerales, rocas y se encuentran raramente concentrados, mientras que los metales están concentrados, pero no dispersos en las rocas. Los procesos que dieron lugar a la formación de la corteza separaron ciertos elementos químicos del cuerpo principal de la Tierra y los concentraron en esta capa. Aun cuando

muchos de estos elementos no son abundantes en la corteza, tienen una concentración más alta en esta zona que en el resto de la Tierra. Si se compara la abundancia de varios de elementos en siderolitos (meteoritos semejantes al manto), en la corteza encontramos los siguientes elementos fuertemente enriquecidos: H, Li, B, F, Na, Al, K, T, Rb, Y, Zr, Nb, In, I, Cs, Ba, La, Tierras Raras, Hf, Ta, W, Te, Pb, Bi, Th, V. muchos de esos elementos son encontrados en concentraciones más grandes que su promedio cortical en ciertos tipos de rocas ígneas (tal como las pegmatitas).

La abundancia de los elementos de la corteza terrestre se da en función de su porcentaje, dado en micrón/gramo o como unidad de concentración en ppm (partes por millón).

Los elementos en la corteza terrestre se pueden clasificar de acuerdo a su unidad porcentaje ponderal (Tabla N°2), en tres grupos, en esta zona se encuentra los 80 elementos:

**Grupo I** comprende 12 elementos cuyos contenidos sobre pasan los 1000 ppm o micrón/gramo y representan el 99,39% de la composición media de la corteza terrestre.

**Grupo II** engloba 46 elementos de composición entre 1 a 1000 ppm y representan el 0,37%.

**Grupo III** comprende los 22 elementos restantes cuyos contenidos son inferiores a 1 ppm y representan el 0,0004%.

**Tabla N° 1:** Distribución de los Constituyentes Mayoritarios de la Corteza. (Brousse, R).<sup>1</sup>

A		B			C
OXIDOS		IONES			MINERALES
% PESO		% PESO	% VOLUMEN	% VOLUMEN	
SiO <sub>2</sub>	55.2	O	46.6	92.0	39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.3	Si	27.72	0.8	12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.8	Al	8.13	0.8	12
FeO	5.8	Fe	5.00	0.7	11
K <sub>2</sub> O	1.9	Ca	3.63	1.4	5
MgO	5.2	Na	2.83	1.6	5
CaO	8.8	K	2.59	2.1	3
Na <sub>2</sub> O	2.9	Mg	2.09	0.6	4.6
TiO <sub>2</sub>	1.6				0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.3		98.59	100.0	1.5
MnO	0.2				4.9

A y C según Ronov y Yaroshevsky, 1969; según Goldschmidt, 1952.

La distribución A y C según Ronov y Yaroshevsky, 1969; B según (Goldschmidt; 1952).

<sup>1</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de silicio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Oxido de aluminio, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Oxido Ferroso, FeO: Oxido de Hierro, K<sub>2</sub>O:Oxido de potasio, MgO: Oxido de Magnesio, CaO: Oxido de Calcio, MnO: Oxido de manganeso, Na<sub>2</sub>O: Oxido de Sodio, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Oxido de potasio, TiO<sub>2</sub>:Oxido de titanio; O:Oxígeno, Si: Silicio, Al: aluminio, Fe: hierro, Ca: Calcio, Na: Sodio, K:Potasio, Mg: magnesio

Los últimos grupos son los que encierran a los << elementos traza >> de las rocas, entre los cuales aún es posible distinguir: los elementos menores, elementos dispersos y elementos raros.

- a. **Los elementos menores**, cuyo contenido en las rocas es apreciable, forman normalmente minerales aislados (Zr, Ti, Cr, Ba...).
- b. **Los elementos dispersos**, cuyo contenido es bastante significativo pero que no se encuentran jamás expresados como minerales (Rb, Ga, Hf...).
- c. **Los elementos raros**, se encuentran en cantidades ínfimas en sustitución isomorfa en los minerales y en las rocas, pero que solo raramente están expresados como minerales (Tb, Lu, Y, Bi...).

A estos elementos en las ciencias biológicas se denomina oligoelementos por su doble sentido, por ser un elemento poco abundante y por su función enzimática.

**Tabla N° 2:** Abundancia de los elementos de la corteza terrestre en ppm.<sup>2</sup>

Tabla 2.2 Abundancia de los elementos en la Corteza en ppm							
I) Elementos > 1000 ppm		II) Elementos > 1 ppm			III) Elementos < 1 ppm		
O	466,000	F	700	Sm	7	Tb	0,9
Si	277,200	S	520	Gd	6	Lu	0,8
Al	81,300	Sr	450	Pr	6	Hg*	0,5
Fe	50,000	Ba	400	Sc	5	I	0,3
Ca	36,300	C	320	Hf	5	Sb*	0,2
Na	28,300	Cl	200	Dy	5	Bi*	0,2
K	25,900	Cr	200	Sn*	3	Tm	0,2
Mg	20,900	Zr	160	B*	3	Cd	0,2
		Rb	120	Yb	3	Ag*	0,1
		V	110	Er	3	In	0,1
8 elementos				Br	3	Se	0,09
= 98,59%				Ge	2	Ar	0,04
		10 elementos		Be*	2	Pd	0,01
		= 0,318%		As*	2	Pt*	0,005
Ti	4,400	Ni*	80	U*	2	Au*	0,005
H	1,400	Zn*	65	Ta*	2	He	0,003
P	1,180	N	46	W*	1	Te	0,002
Mn	1,000	Ce	46	Mo*	1	Rh	0,001
4 elementos		Cu*	45	Cs	1	Re	0,001
= 0,798%		Y	40	Ho	1	Ir	0,001
Total		Li	30	Eu	1	Os	0,001
12 elementos		Nd	24	Tl	1	Ru	0,001
= 99,39%		Nb	24				
		Co	23	22 elementos		22 elementos	
		La	18	= 0,0065%		= 0,0004%	
		Pb*	15	Total			
		Ga	15	48 elementos			
		Th	10	= 0,3725%			
		14 elementos					
		= 0,048%					

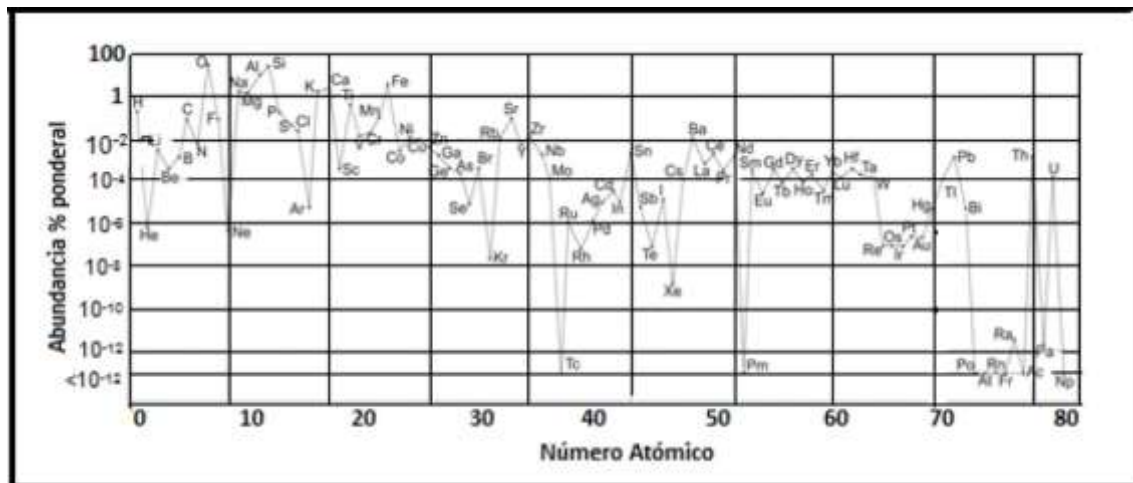
Según datos de Goldschmidt, 1937; Rankama y Sagama, 1950; Mason, 1958; y Vinogradov, 1962).  
 Los elementos "muy comunes" están con asteriscos. (Tomado de Aubouin, J).

2 O:Oxígeno, Si: Silicio, Al: aluminio, Fe: hierro, Ca: Calcio, Na: Sodio, K:Potasio, Mg: magnesio, Ti: Titanio, H: Hidrogeno, P: fosforo: Mn: Manganeso, F: Fluor, S: Azufre: Sr: Estroncio, Ba: Bario, C: Carbono, Cl: Cloro, Cr: Cromo, Zr: Zirconio, Rb: rubidio, V: Vanadio, Ni: Niquel, Zn: Zinc, N: Nitrogeno, Ce: Cerio, Cu: Cobre, Y: Itrio, Li: Litio, Nb: Niobio, Co: Cobalto, La: Lantano: Pb: Plomo, Ga: Galio, Th: Torio, Sm: Samario, Gd: , Pr:Praseodimio Sc: escadio, Hf: Hafnio, Dy: Deuterio, Sn: Estaño, B: Boro, Yb: iribio, Er: Erblio, Br: Bromo, Ge: Germanio, Be: Berilio, As:Arsenico, U: Uranio, Ta: Tántalo, W: wolframio, Mo: molibdeno, Cs: Cesio, Ho: Olmio, Eu: Europio, Tb: Terbio, Lu: Lutecio, Hg: Mercurio, I: Yodo, Sb: Bi: Bismuto, Tm: Tulio, Cd: cadmio, Ag: plata, In: Indio, Se: Slenio, Ar: Argon, Pd: Pt: platino, Au: Oro, He: Helio, Te: Telurio, Rh: Rodio Re: Renio, Ir: Iridio, Os: osmio.

La Tabla N°2, muestra que muchos elementos muy importantes económicamente son bastante raros, por ejemplo, el cobre es menos abundante que el zirconio, el mercurio es menos abundante que las tierras raras, el vanadio es más abundante que el estaño, el níquel es menor que el rubidio, etc.

Es evidente que se debe establecer una distinción entre la abundancia de un elemento y su geodisponibilidad.

La Figura N°1, muestra la relación entre la abundancia y el número atómico de los elementos en la corteza terrestre, comprendido entre 1 y 93.



**Figura N° 1 :** Abundancia de los elementos en la corteza terrestre (Mason 1958).

**Tabla N° 3:** Composición de rocas ígneas en (%) de masa.<sup>3</sup>

	Ultrabásica		Básicas			Intermedia			Ácida		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	43.80	43.60	48.40	49.00	50.00	54.60	58.50	57.00	68.90	70.10	71.00
TiO <sub>2</sub>	1.70	0.72	1.80	1.29	1.29	1.50	0.76	0.79	0.50	0.39	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.10	4.72	15.50	16.20	16.50	16.40	16.80	17.50	14.50	14.50	14.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.50	4.62	2.80	5.00	4.22	3.30	3.08	3.72	1.70	1.57	1.54
FeO	8.70	8.01	8.10	6.30	6.80	5.22	3.67	3.31	2.20	1.78	1.85
MnO	0.18	0.14	0.17	0.28	0.23	0.15	0.14	0.17	0.07	0.12	0.05
MgO	22.50	24.80	8.60	6.62	6.30	3.80	3.22	3.64	1.10	0.88	0.74
CaO	10.00	12.20	10.70	9.10	9.75	6.50	6.01	6.70	2.60	1.99	1.82
Na <sub>2</sub> O	0.80	0.73	2.30	3.02	2.78	4.20	3.56	3.62	3.90	3.48	3.62
K <sub>2</sub> O	0.70	0.38	0.70	1.41	1.24	3.20	2.06	2.01	3.80	4.11	4.02
H <sub>2</sub> O	0.60	-	0.70	1.58	1.17	0.70	1.26	0.83	0.60	0.84	0.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.21	0.27	0.44	0.36	0.42	0.26	0.25	0.16	0.19	0.14

Según (Vienogradov, 1954), datos de (Nocklds 1, 3, 1, 9, 1954); (Vinogradov 2, 5, 8, 11, 1955); (Daly 4, 7, 10, 1933). (Rosler, H., et al. 1972).

<sup>3</sup> SiO<sub>2</sub> : Oxido de silicio, TiO<sub>2</sub> : Oxido de titanio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Oxido de aluminio (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Oxido de Hierro, FeO : Oxido de Hierro, MnO : Oxido de Manganese, MgO : Oxido de Magnesio, CaO : Oxido de Calcio, Na<sub>2</sub>O : Oxido de Sodio, K<sub>2</sub>O : Oxido de Potasio, H<sub>2</sub>O : Agua, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : Oxido de Fosforo (III).



La Tabla N°3, muestra de los elementos mayores (óxidos) de las rocas ígneas, calculadas por diversos autores.

Esta tabla muestra la abundancia de ciertos elementos en las rocas ultramáficas como Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, P, así como una abundancia de Si, Na, K y Al en las rocas félsicas.

### 2.2.3 CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS

#### a. Clasificación de Goldschmidt

Goldschmidt (1923) revisó la información de la distribución de los elementos químicos en los materiales naturales y de aquellos preparados artificialmente; reconoció las asociaciones elementales de acuerdo a la clase de materiales y formuló su concepto de la afinidad de los elementos químicos para las fases fundamentales que comprenden la Tierra. De acuerdo al conocimiento de la estructura extranuclear de los átomos y a la manera en el cual un elemento actúa en un ambiente fisicoquímico determinado, dependerá de su capacidad para formar enlace más fuerte en lo posible, y de esta manera esta relacionado directamente al número de electrones y su configuración alrededor del núcleo atómico.

Debido a esto, los elementos químicos en la clasificación basada en la afinidad para las fases fundamentales que componen la Tierra se presentan muy regularmente en grupos o subgrupos, y sus relaciones extranucleares están bien definidas.

Esta clasificación de Goldschmidt es solo cualitativa y no puede ser usada para explicar mucho de los detalles de la ocurrencia y distribución de los elementos en la corteza terrestre. La validez general de esta clasificación se debe a la similitud en la configuración electrónica de los varios grupos de elementos:

**Siderófilos:** Son aquellos elementos que tienen afinidad al hierro (Fe) y cuyos electrones exteriores (valencia) bajo ciertas condiciones químicas no están disponibles para combinarse con otros elementos, porque su estructura electrónica, en su nivel más externo, no está completamente rellena, de tal manera que la carga positiva en el núcleo puede ejercer una fuerte atracción sobre los electrones exteriores. (Tabla N°4). Así ellos tienden a ocurrir en el estado nativo, formando enlaces metálicos.

Además, se presentan sin combinar debido a su alto potencial de ionización (mayor de 7eV).

Estos elementos tienden a concentrarse en el núcleo terrestre (siderosfera), por lo tanto, tienen escasa afinidad con el O y S.

**Tabla N° 4 :** Configuración electrónica de los elementos siderofilos<sup>4</sup>, (Mamani, 2014).

Elementos	Z	K	L	M	N	O	P
		s	2s2p	3s3p3d	4s4p4d4f	5s5d5p5f	6s6p
<b>Fe</b>	26	2	2 6	2 6 6	2		
<b>Co</b>	26	2	2 6	2 6 7	2		
<b>Ni</b>	28	2	2 6	2 6 8	2		
<b>Ru</b>	44	2	2 6	2 6 10	2 6 7	1	
<b>Rh</b>	45	2	2 6	2 6 10	2 6 8	1	
<b>Pd</b>	46	2	2 6	2 6 10	2 6 9	1	
<b>Os</b>	76	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 6	2
<b>Ir</b>	77	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 7	2
<b>Pt</b>	78	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 9	1
<b>Au</b>	79	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	1

Por ejemplo, en el caso de los elementos siderofilos, Fe-Ni-Co; Ru-Rh-Pd; Re-Os-Ir y Pt orbitales <<d>> que no están llenados con electrones debajo de su orbital exterior. Así los elementos de cada subgrupo citados tienen propiedades químicas y cristalográficas muy semejantes y los tres subgrupos tienen notablemente tendencias similares en lo que respecta a las reacciones fisicoquímicas.

**Calcófilos:** Son aquellos elementos que tienen afinidad con el azufre (S) y cuyos electrones están mas disponibles, así tienden a formar iones (Tabla N° 5).

**Tabla N° 5 :** Configuración electrónica de los elementos calcófilos<sup>5</sup>. (Rivera, 2014).

Elementos	Z	K	L	M	N	O	P
		s	2s2p	3s3p3d	4s4p4d4f	5s5d5p5f	6s6p
<b>S</b>	16	2	2 6	2 4			
<b>Cu</b>	29	2	2 6	2 6 10	1		
<b>Zn</b>	30	2	2 6	2 6 10	2		
<b>As</b>	33	2	2 6	2 6 10	2 3		
<b>Se</b>	34	2	2 6	2 6 10	2.4		
<b>Ag</b>	47	2	2 6	2 6 10	2 6 10	1	
<b>Cd</b>	48	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2	
<b>Sn</b>	50	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 2	
<b>Sb</b>	51	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 3	
<b>Hg</b>	80	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2
<b>Pb</b>	82	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 2

Los electrones de valencia están fuera de una capa de dieciocho (18) electrones.

4 S: Azufre, Cu: Cobre, Zn: Zinc, As: Astató, Se: Selenio, Ag: Plata, Cd: Cadmio, Sn: Estaño, Sb: Antimonio, Hg: Mercurio.

5 K, L, M, N, O, P: Configuración Electrónica.



Tienen potencial de ionización (7,5-10,5 eV) en promedio más alto que los siderófilos, y su comportamiento es diferente por su capacidad a polarizar el átomo de azufre, lo cual favorece la unión covalente entre ellos. Estos elementos están enriquecidos en el manto terrestre (calcosfera).

De la misma manera, algunos elementos calcófilos pueden agruparse o subagruparse por sus configuraciones electrónicas y sus correspondientes tendencias para formar enlaces polares o covalentes tales como S-Se-Te; Cu-Zn-Cd; As-Sb-Bi; Ag-Hg.

**Litófilos:** Son aquellos elementos que tienen afinidad al oxígeno (O) y al silicio (Si) y cuyos electrones están más disponibles para formar iones. (Tabla N° 6).

Tienden a formar enlaces iónicos con el oxígeno, como en los numerosos silicatos.

**Tabla N° 6 :** Configuración electrónica de los elementos litófilos.<sup>6</sup> (Mamani, 2012).

Elementos	Z	K	L	M	N	O	P
		s	2s2p	3s3p3d	4s4p4d4f	5s5d5p5f	6s6p
<b>O</b>	8	2	2 4				
<b>Li</b>	3	2	1				
<b>Na</b>	11	2	2 6	1			
<b>Mg</b>	12	2	2 6	2			
<b>Al</b>	13	2	2 6	2 1			
<b>Si</b>	14	2	2 6	2 2			
<b>K</b>	19	2	2 6	2 6 -	1		
<b>Ca</b>	20	2	2 6	2 6 -	2		
<b>Ba</b>	56	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6	2

En general tienen sus electrones de valencia fuera de una capa de ocho (8) electrones. Tienen bajo potencial de ionización (3,6eV), lo cual les permite entrar fácilmente en combinación. Estos elementos son los mayores componentes de la corteza terrestre (litosfera).

Finalmente se puede considerar varios elementos litófilos que son subagrupados dentro de elementos que tienen sus propias subafinaciones tal es el caso para el Li-Na-K-Rb-Cs; Be-Mg-Ca-Sr-Ba; Ti-Zr-Hf-Th; B-Al-Ga y las Tierras Raras, debido a su similar estructura electrónica extranuclear, todos ellos preferentemente forman enlaces iónicos.

<sup>6</sup> O: Oxígeno, Li: Litio, Na: Sodio, Mg: Magnesio, Al: Aluminio, Si: Silicio, K: Potasio, Ca: Calcio, Ba: Bario.

K, L, M, N, O, P: Configuración Electrónica.

**Tabla N° 7 :** Configuración electrónica de elementos atmófilos.<sup>7</sup> (Rivera, 2014).

Elementos	Z	K	L	M	N	O	P
		s	2s2p	3s3p3d	4s4p4d4f	5s5d5p5f	6s6p
<b>He</b>	2	2					
<b>Ne</b>	10	2	2 6				
<b>Ar</b>	18	2	2 6	2 6			
<b>Kr</b>	36	2	2 6	2 6 10	2 6		
<b>Xe</b>	54	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6 - -	
<b>Rn</b>	86	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 -	2 6

**Atmofilos:** Son los elementos que conforman la atmosfera, principalmente los gases inertes o nobles afines al aire que se presentan en estado libre (no combinado) debido a que su capa más externa esta rellena con 8 electrones, además involucra a otros elementos como O, N, H etc. (Tabla N° 7).

**Biófilos:** Literalmente son los elementos afines a la vida, los cuales están concentrados en los organismos vivos (Biosfera).

Cabe anotar que algunos de los elementos parecen pertenecer a más de un grupo y Goldschmidt sugirió que esta propiedad podría depender de la abundancia de Fe, S, O. Por ejemplo, cuando está disponible un exceso de Fe como en los meteoritos, el Ni y Co son siderofilos (fase hierro), mientras el Cr es calcofilo y va a la fase sulfuro. En la corteza, el hierro no está abundante en relación con el Al, O y S; en este caso, el Ni y Co son calcofilos y se combinan con el azufre, mientras que el Cr es litófilo y se combina con el oxígeno. El manganeso es tanto litófilo como calcofilo.

Esta tendencia para formar grupos de dos o tres elementos químicos (o más) es un factor de suma importancia en la prospección geoquímica y la geología económica.

## b. CLASIFICACIÓN GEOQUIMICA GENERAL

Los elementos están comúnmente divididos en elementos mayores, menores y traza.

**Elementos Mayores:** Son considerados elementos estructurales de los minerales mayores, típicamente con concentraciones mayores de 1.0%.

**Elementos Menores:** Son los elementos estructurales en importantes minerales menores y/o elementos que sustituye en un alto grado en los minerales mayores (con concentraciones típicamente en el rango de 0.1% a 1.0%).

**Elementos Traza:** Son aquellos con muy bajas concentraciones sustituyen dentro de los constituyentes mayores en menor grado (típicamente < 0.1%) y como constituyentes mayores en la fase traza.

Un refinamiento de este esquema, particularmente usado en modelos geoquímicos considerando la petrogenesis de las rocas ígneas. En este esquema, los elementos traza son aquellos con concentraciones bastante bajas, así que no hay obligación estequiometria

<sup>7</sup> He: Helio, Ne: Neon, Ar: Argon, Kr: Kriptón, Xe: Xenón, Rn: Radón

(medición de los componentes elementales) en las abundancias de los minerales o líquidos magmáticos.

La relación actividad/concentración de tales elementos siguen la ley de Henry para todas las fases coexistentes. Así, las concentraciones son bastante bajas en todas las fases de tal manera que la concentración cambia en el sistema total pero no afecta la estabilidad de ninguna fase.

Los Constituyentes Estructurales Esenciales (CEE), es contraposición, son elementos que rellenan un lugar en un mineral dentro del sistema, tal que la fase no existiría sin suficiente cantidad de CEE y con el relacionamiento actividad/concentración este sigue la regla de Raoult. En tales casos (y como crítica a la clasificación de elementos mayores, menores y traza), los CEE tendrían una abundancia de relleno a través de la evolución de cualquier magma que esta en equilibrio con el mineral.

Las composiciones de fusión cambiarían solo en el grado que el coeficiente de partición de mineral/fusión de los CEE sean afectadas por el cambio en la composición de fusión, como en la temperatura y presión. En resumen, los elementos mayores normales, ejemplos de CEE que son comúnmente considerados trazas o elementos menores podrían ser el Zr en un sistema que contenga circón o el P en un sistema que contenido apatito. Los elementos intermedios son aquellos que yacen entre los elementos trazas y los miembros finales de los CEE y pueden comportarse en una manera ideal o no ideal. Aunque tales elementos no son requeridos por una fase existente, ellos están en abundancia bastante alta, tal que los cambios de concentración no afectarían la estabilidad de alguna fase. Por ejemplo, el Na y Ca pueden existir en la solución solida albita-anortita dentro de una fusión félsica.

### c. CLASIFICACIÓN TAMAÑO/CARGA.

Esta clasificación ha sido desarrollada para clasificar a los elementos en base de su tamaño (radio iónico) y la carga nominal de los minerales comunes. Sobre la base del volumen del coeficiente de partición ( $D$ ) en los sistemas magmáticos, los elementos pueden ser divididos en **Compatibles ( $D > 1$ )** e **incompatibles ( $D < 1$ )**.

Los coeficientes de partición están controlados, entre otras cosas, por la temperatura, fugacidad del oxígeno y la composición, por lo tanto, la clasificación precisa de muchos elementos dependería del sistema ígneo bajo consideración.

#### **Elemento Compatibles Respecto al Manto**

Son aquellos que por su radio iónico como por su carga pueden entrar fácilmente a formar parte de las fases cristalinas del manto (olivino y piroxeno fundamentalmente). Ejemplos de elementos compatibles son los metales de transición: Ni, Co, Sr, V, Cr, etc., con coeficiente de reparto solido/liquido  $> 1$ . (Fernández, S. et al 1991).

#### **Elementos Incompatibles**

Son aquellos elementos que por radio o carga elevadas no constituyen minerales y se concentran en las fases residuales, además de tener un coeficiente de reparto  $> 1$ .

Los elementos incompatibles están divididos para el caso general de la fusión del manto para formar rocas corticales típicas:

- Elementos altamente o grandes, aquellos con potencial de ionización casi debajo de

4 son llamados elementos litofilos de ion grande (LILE- Large Ion Lithophile Elements).

- Elementos con potenciales de ionización encima de 4 son llamados elementos de grandes valencias (HFSE-High Field Strength Elements).

#### **d. OTRAS CLASIFICACIONES.**

Es común también adoptar terminología química estándar en la discusión de la distribución de los elementos en las rocas y minerales.

Así tenemos, los álcalis (grupo IA, excluyendo al H), alcalinos térreos (grupo IIA), elementos de transición (grupos de IB al VIII B), elementos lantánidos o tierras raras (y lantánidos, grupo IIIB), halógenos (grupo VIIA) y gases nobles (grupo VIIIA), términos que son frecuentemente usados. Una notable excepción es que, en Geoquímica, el termino elementos tierras raras usualmente se refiere La y Ce-Lu, mientras que la terminología química convencional, elementos tierras raras incluye Sc, Y, La y los lantánidos, Ce-Lu.

### **2.2.4 GEOQUIMICA MAGMATICA.**

#### **a. Clasificación de Rocas Igneas y su Petrogenesis**

Con el estudio microscópico, una roca queda definida de una manera incompleta, debido a que casi todos los minerales admiten considerables sustituciones en su estructura, por tanto, podemos encontrar rocas con igual composición mineralógica y con muy distinta composición química. Una roca definida por su composición mineralógica o por su análisis químico, está parcialmente definida y conviene tener los dos datos. El análisis químico es un complemento necesario de la investigación petrológica. Así mismo los análisis químicos de elementos menores y tierras raras ligeras y pesadas conllevan a determinar la génesis de las rocas, es decir su petrogénesis, al ser estos elementos incompatibles, tienden a concentrarse en la fase fundida que resulte de la fusión del magma y también tienden a permanecer en la fase fundida durante la cristalización fraccionada de un magma.

Las múltiples características y particularidades de las rocas son las causas de la gran diversidad de clasificaciones existentes. Una clasificación natural tendría que atender al origen, naturaleza geológica, composición mineralógica y química, estructura y textura. La imposibilidad de atender todos estos aspectos origina diferencias entre las clasificaciones. Algunas clasificaciones están basadas en el contenido mineral, otras ponen énfasis a la forma de ocurrencia en el campo. La mayoría de estos esquemas tienen méritos, pero ninguna puede combinar plenamente las ventajas de todos.

Las clasificaciones mineralógicas no son prácticas, sobre todo en las rocas volcánicas que contienen pequeños granos de mineral y materia vítrea; en este caso, un análisis químico de roca total puede utilizarse para calcular una composición mineral teórica basado en un grupo estándar de minerales. Es obvio que un análisis químico de rocas no tomara en cuenta las particularidades de textura y el contenido de minerales. En otras palabras, el análisis químico deja fuera de consideración las condiciones geológicas de cristalización magmática, pues varios magmas de composición idéntica pueden dar

origen, en diferentes condiciones de cristalización, a rocas de textura y contenido mineral enteramente distintos.

**b. Composición Química de los Magmas.**

El análisis de las rocas profundas permite dar una idea de la composición química del magma con excepción de los componentes volátiles. La composición media de los siguientes valores.

**Tabla N° 8 :** Composición media de los magmas.<sup>8</sup> (Hoyos, A, 1947)

COMPOSICION MEDIA DE LOS MAGMAS					
UNIDAD (%)					
<b>SiO<sub>2</sub></b>	61	<b>MnO</b>	0.1	<b>K<sub>2</sub>O</b>	2.8
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15	<b>MgO</b>	3.4	<b>H<sub>2</sub>O</b>	1.6
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.8	<b>CaO</b>	5.0	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.8
<b>FeO</b>	3.4	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.4	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.3

La existencia de mucho oxígeno hace que los elementos formen óxidos. La cantidad que existe de estos, condiciona la variación de los magmas. Expresada en tanto por ciento del análisis total, esta variación alcanza los siguientes valores para los distintos óxidos (Tabla N° 9).

**Tabla N° 9 :** Valores de los óxidos.<sup>9</sup> (Rivera, 2014).

VALORES DE LOS OXIDOS			
Oxidos	Limites oxidos	Rangos	Observaciones
<b>SiO<sub>2</sub></b>	30 - 80	40 - 76	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0 - 30	9 - 23	A menudo > 16, muy raro > 26
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0 - 14	0 - 10	Raramente 6, muy raro > 10
<b>FeO</b>	0 - 20	0 - 11	Raramente 5, muy raro > 12
<b>MgO</b>	0 - 47	0 - 13	Alrededor de 0 - 7, muy raro > 30
<b>CaO</b>	0 - 22	0 - 15	Frecuentemente 0 - 8
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0 - 18	0 - 10	Casi siempre 2 - 6
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0 - 14	0 - 9	Casi siempre 0 - 5, raramente > 5

Los diferentes óxidos suelen intervenir preferentemente en la formación de distintos minerales, así tenemos:

**SiO<sub>2</sub>.** Se encuentra en los silicatos, en los magmas ácidos, se encuentra en exceso y se separa cuarzo libre. Entre los silicatos los que contienen apreciable cantidad de SiO<sub>2</sub> son los feldespatos alcalinos. Cuando no existe suficiente cantidad de SiO<sub>2</sub> para formar estos

<sup>8</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de silicio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Oxido de aluminio (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Oxido de Hierro, FeO: Oxido de Hierro.

<sup>9</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de silicio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Oxido de aluminio (III), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Oxido de Hierro, FeO: Oxido de Hierro, MgO: Oxido de Magnesio, CaO: Oxido de Calcio, Na<sub>2</sub>O: Oxido de Sodio, K<sub>2</sub>O: Oxido de Potasio.

y el contenido de álcalis es bastante grande se forma analcima y los minerales raros cancrinita y mellita que contienen calcio. Si la cantidad de  $\text{SiO}_2$  no es suficientemente para formar augita y hornblenda, se forma olivino.

**$\text{Al}_2\text{O}_3$ .**- Se encuentra en los aluminosilicatos (feldespatos, feldespatoides, micas). También la hornblenda y la augita pueden tener en ocasiones cantidades determinadas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**$\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}$ .** - El hierro está contenido en primer lugar en los constituyentes accesorios magnetita, hematitas, ilmenita, pirita, pirrotita, las menas metálicas. También se encuentra en los melanocratos, olivinos, augita, hornblenda, biotita y algo en el granate.

**$\text{MgO}$ .** - En el olivino, biotita, augita, hornblenda. También en las espinelas.

**$\text{CaO}$ .** - Unido al aluminio en las plagioclasas básicas. Además, es constituyente principal de la augita ordinaria y de la diálaga. Menos frecuente en la hornblenda y falta en la biotita.

**$\text{Na}_2\text{O}$ .**- En los feldespatos y en las plagioclasas acidas. Además, en los feldespatoides sobre todo nefelina y analcima. También lo contienen muchas augitas y hornblendas.

**$\text{K}_2\text{O}$ .**- En los feldespatos potásicos (ortosa, sanidina, microclina). En los feldespatos alcalinos y para pequeña cantidad de  $\text{SiO}_2$  en la leucita o al lado de  $\text{Na}_2\text{O}$  en la nefelina. También en la muscovita y biotita tienen potasio.

**$\text{H}_2\text{O}$ .** - Muchas hornblendas contiene (OH); además biotita y muscovita, también contiene  $\text{H}_2\text{O}$  la analcima.

### c. Procesos que Originan las Rocas Ígneas

Los principales procesos por los que se genera las rocas ígneas son la: fusión parcial, la cristalización fraccionada, la mezcla de magmas y la asimilación (Figura N° 2).

#### FUSIÓN PARCIAL

Es un estado que atraviesan las rocas, o los oslidos heterogéneos, antes de fundirse completamente. La mayoría de las rocas se componen de varios minerales con diversos puntos de **fusión**, y por tanto sus diagramas de cambio de fase de sólido a líquido suelen ser complejos. Existen cuatro mecanismos mediante los cuales pueden generarse líquidos (magmas) homogéneos: fusión en equilibrio, fusión fraccionada. Fusión por zonas y fusión en desequilibrio.

Durante los estudios iniciales de la fusión, el líquido se forma en los espacios intergranulares de la roca madre, si el proceso tiene lugar en condiciones de equilibrio, el magma permanece donde se está formando hasta que la fracción fundida alcanza un valor mínimo, que se supone del 7% en que puede comenzar la segregación del residuo refractario.

El contraste de densidades entre el líquido silicatado y el de los cristales, es el factor que controla la segregación. El tiempo originado a lo largo del proceso, puede ser segregado del sólido residual en dos formas diferentes: de una sola vez (fusión en equilibrio) o continuamente, al mismo tiempo que se va produciendo (fusión fraccionada).

Mientras que la fusión tenga lugar en condiciones eutécticas (es decir, isotermicamente), la composición del líquido segregado será la misma en lo que concierne a los elementos mayores, cualquiera que sea la forma que tenga lugar su atracción. Por el contrario, la



composición de los líquidos segregados será diferente, según se trate de fusión en equilibrio o de fusión fraccionada.

De lo que acaba de ser expuesto, puede extraerse las siguientes conclusiones sobre la fusión parcial.

- a. Que la composición del líquido inicial es idéntica en lo que concierne a los elementos mayores cualquiera sea la proporción en la que se encuentren las fases en el material originario, e independiente de que la fusión sea en equilibrio o fraccionado.
- b. Que la abundancia en elementos traza de los líquidos producidos, está controlada por el tiempo de fusión y por las fases presentes en el material originario.
- c. Que la fusión fraccionada puede producir magmas de diferente composición a partir de un mismo material original.
- d. Como es sabido, el manto superior y la corteza son las zonas donde se generan los magmas, estas se encuentran al estado sólido, esto quiere decir, para que se produzca la fusión en estas zonas tiene que producirse previamente algún tipo de perturbación. Se acepta generalmente que las causas que pueden provocar la fusión son:
  - La perturbación del gradiente geotérmico.
  - El descenso de sólidos y los líquidos por la adición de volátiles.
  - El ascenso diapírico de porciones del manto en condiciones adiabáticas.

La última causa es la que probablemente da lugar a la generación de los más importantes volúmenes de magmas, ya que se supone que es la responsable del magmatismo de las dorsales meso oceánicas, asimismo de la generación de magmas al interior de las palcas y en las áreas tras arco. Por el contrario, en los arcos de islas y en los bordes continentales tipo andino, el magmatismo se produce por descenso de sólidos en la cuña del manto situada por encima del plano de Benioff, al penetrar en ella fluidos que proceden de la deshidratación de la corteza oceánica que subduce.

### **CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA.**

Una vez producida la segregación, comienza el ascenso de los magmas hacia las zonas superficiales. En los primeros estadios del ascenso, el movimiento del magma tiene lugar en condiciones adiabáticas, por lo que no es probable que comience la cristalización. Al entrar en la corteza, la menor densidad de las rocas de esta, provoca el que se paralice el ascenso y el que se origine la cámara magmática. Dentro de la cámara, el magma evoluciona en condiciones isobáricas, ya que pierde calor por las paredes de aquellas, cuando la temperatura desciende por debajo del líquido comienza la cristalización.

La observación petrográfica y los sistemas experimentales indican que la cristalización de un magma no tiene lugar en forma simultánea, en general, la aparición de una fase es seguida por otra, al continuar el enfriamiento se añade una tercera, al llegar a la temperatura determinada y así sucesivamente. Puesto que el fundido y los cristales que participan no tienen la misma composición, el quimismo del líquido residual se modifica durante la cristalización.

Se sabe desde los experimentos de (Bowen; 1928) que la cristalización puede ser de dos tipos:

- **Cristalización en equilibrio.** - Los minerales que precipitan reaccionan con el líquido y se reequilibran con él, por lo que la roca resultante tendrá la misma

composición que el fundido original. Esto es, si el magma es de composición basáltica, dará lugar a un basalto, una dolerita, un gabro o una eclogita, según la profundidad a la que tenga lugar la cristalización.

- **Cristalización fraccionada.** - Los minerales y el líquido residual se separan por lo que este se empobrece en los elementos constituyentes de los minerales que se han formado y se enriquece en aquellos otros que no han entrado en dichos minerales y en consecuencia las diversas rocas que se originan tendrán una composición más o menos de la del magma original.

La secuencia de cristalización dependerá de la composición del fundido y de las condiciones físicas bajo las que aquellas tienen lugar. A partir de un magma básico, olivino, plagioclasa cálcica y piroxenos son los primeros que cristalizan, si la presión del oxígeno es elevada tiene lugar la cristalización temprana de la magnetita generando líquidos residuales pobres MgO, CaO y FeO y enriquecidos en SiO<sub>2</sub> y álcalis si la presión del oxígeno no es alta, la magnetita no se cristaliza, los líquidos resultantes están empobrecidos en MgO, CaO y enriquecidos en FeO, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. La primera secuencia es la que se observa en las rocas de la serie calco-alcálicas, y la segunda es típica de las rocas toleíticas.

En lo que respecta a la cristalización de la hornblenda, se ha llegado a suponer que las andesitas calco-alcálicas derivan de magmas basálticos hidratados por el fraccionamiento del anfíbol. La formación de la biotita y cuarzo tiene lugar a partir de líquidos diferenciados suficientemente ricos en sílice, álcalis y constituyentes volátiles como H<sub>2</sub>O. En general, la biotita está siempre presente en los términos más evolucionados de la serie calco-alcálica y en lagunas de la serie basáltica, pero está ausente en las rocas equivalentes de la serie toleíticas debido a que la abundancia de volátiles específicamente del H<sub>2</sub>O no es suficientemente alta para que aparezca esta fase.

La separación de los cristales u líquido residual pueden realizarse por los siguientes mecanismos: separación gravitatoria, flotación, filtrado por presión, y fraccionamiento convectivo. De todo ellos la separación gravitatoria es la más ampliamente aceptada, en esencia, la separación gravitatoria produce el hundimiento de los cristales como consecuencia de su mayor densidad.

## PROCESO DE MEZCLA

Aunque la mayor parte de los petrologos aceptan que la cristalización fraccionada es el mecanismo de diferenciación más importante, algunas rocas ígneas presentan unos caracteres geoquímicos que solo se pueden explicar recurriendo a procesos de mezcla, por ejemplo, la correlación positiva entre las relaciones isotópicas del oxígeno y del estroncio (Figura N° 2).

Los fenómenos de mezcla son más complejos que los procesos magmáticos anteriormente descritos, puesto que bajo esta denominación se incluyen mecanismos como mezcla de magmas, la contaminación del material originario anterior o simultáneamente a la fusión, la asimilación y el intercambio isotópico magma-roca encajante sin asimilación.

Para una serie de rocas especial y temperatura asociada puede resultar difícil evaluar el proceso de mezcla por el cual se ha generado la misma ya que algunos de ellos como, por



ejemplo, la asimilación de una roca y la mezcla con un líquido de la misma composición puede producir los mismos efectos en el magma que sufre la contaminación y ser por consiguiente indiferenciados desde el punto de vista geoquímico.

Además, otros mecanismos de diferenciación pueden así mismo un papel más o menos importantes, lo que contribuye a oscurecer o incluso a destruir los caracteres geoquímicos del proceso de mezcla simple.

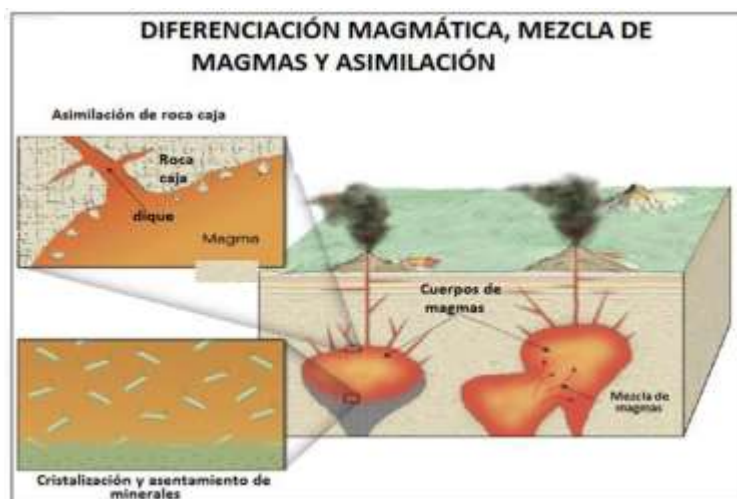
La mezcla de magmas consiste en la combinación de dos o más magmas coetáneos de composición más o menos contrastada, el magma resultante de esta combinación, debe tener una cierta homogeneidad y su composición ser intermedia entre la de los fundidos iniciales. Puesto que, en general, los magmas no están sobre calentados, un pequeño descenso de la temperatura provoca en ellos de una o más fases minerales, por esta razón, la mezcla se realiza raramente entre líquidos exentos de cristales, por lo que el nuevo magma generado está integrado de una fase gaseosa y otra líquida más tantas fases sólidas como minerales aporten cada uno de ellos. Los minerales aportados pueden estar o no en equilibrio con el nuevo líquido.

En el primer caso, si están en equilibrio no se produce ninguna reacción entre ambos ya que el líquido está saturado de ellos y los cristales incorporados se añaden a los que se generen a partir del nuevo magma. Si al contrario están en desequilibrio, se produce una interacción entre los cristales y el líquido, y aquellos se disuelven o muestran signos de reacción. La contaminación del material originario (o hibridación) se produce cuando fundido de procedencia cortical, o mezcla de líquidos derivados de materiales corticales y subcorticales, invaden el manto. Este proceso se desarrolla fundamentalmente en los arcos-islas y en los bordes continentales activos, en los que la corteza oceánica y los sedimentos oceánicos y continentales depositados sobre ella, son introducidos primero y después parcialmente fundidos por su subducción.

### **ASIMILACIÓN.**

La asimilación es la incorporación y digestión de un material preexistente por un magma, inicialmente para los petrologos este proceso fue ampliamente aceptado, llegándose a interpretar muchas rocas ígneas como el resultado de la asimilación de material de la corteza por magmas primarios. Sin embargo, esta interpretación fue progresivamente abandonada, debido sobre todo a la amplia diferencia existente entre la capacidad calorífica (0,2 - 0,3 cal/g) y el calor latente de fusión (80 - 110cal/g) de los silicatos (Figura N° 2).

Obviamente, la asimilación requiere una energía térmica suficiente para en primer lugar elevar la temperatura de la roca englobada hasta que puedan comenzar a desarrollarse los procesos de reacción o fusión y después para suministrar el calor latente de fusión necesario. Puesto que esta fuente de energía solamente puede suministrarla el propio magma, hay que pensar que estos deben estar sobre calentados, el segundo factor –calor latente de cristalización- considerado debe ser el responsable del proceso. Si el material asimilado son fases minerales individualizadas, su interacción con el líquido magmático es similar a la descrita al tratar la mezcla de magmas.



**Figura N° 2 :** Generación de procesos magmáticos  
(Según Copyright@ Pearce Prentice Hall Inc. 2005).

Por el contrario, si el material incorporado son rocas, el efecto sobre el magma que le engloba va ser distinto a la composición de aquellas. Así, la asimilación de rocas carbonatadas por un magma basáltico produce un incremento en la precipitación de augita y anortita y un empobrecimiento en el magma de otros componentes de estos minerales no contenidos en los xenolitos como en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Por el contrario, la incorporación de sedimentos aluminicos origina un aumento en el contenido de anortita e hiperstena en los productos finales de la cristalización.

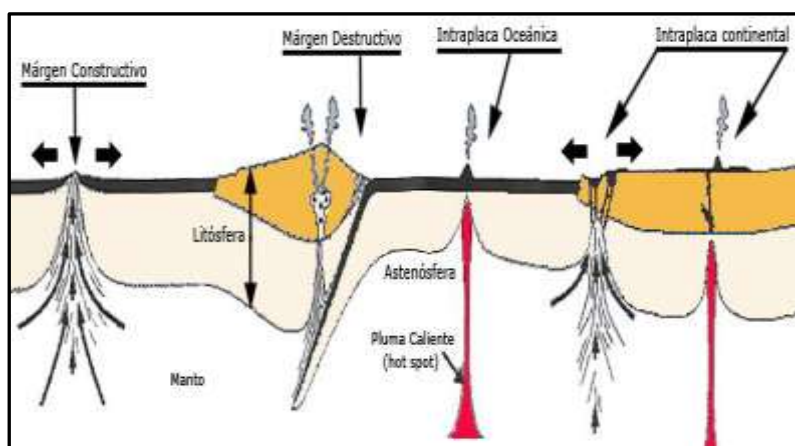
De acuerdo con lo que se ha expuesto, la asimilación no afecta drásticamente el contenido de los elementos mayores del magma huésped salvo si el material es de naturaleza calcárea. Sin embargo, la abundancia en elemento traza y sobre todo las composiciones isotópicas de los productos resultantes pueden variar muy intensamente.

### 2.2.5 CONTEXTO GEOTECTÓNICO

Una de las contribuciones más importantes de la Teoría de la Tectónica de Placas a la Geología actual ha sido proporcionar un marco unitario de interpretación para el conjunto de las rocas ígneas, viene a ser la contribución relativa de cada ambiente geológico al magmatismo terrestre.

La primera observación a realizar es que casi dos tercios de los magmas producidos jamás alcanzan la superficie, sino que vuelven a convertirse en rocas en el interior de la Tierra. La segunda es que más del 80% del magmatismo se produce en las márgenes de placas, o sea casi siempre en la profundidad de las cuencas oceánicas.

### a. Ambientes Geotectonicos de Generación de Magmas



**Figura N° 3 :** Ambientes de generación de magmas  
(Según Winter, 2005).

Aunque existen muchas interrogantes por resolver, es indudable que la mayor parte de las cuestiones referenciales a la génesis de rocas ígneas pueden ser explicadas de modo adecuado en el marco de la Tectónica Global. En los siguientes puntos veremos la naturaleza de los procesos magmáticos en relación con el ambiente tectónico en que se desarrollan (Figura N° 3).

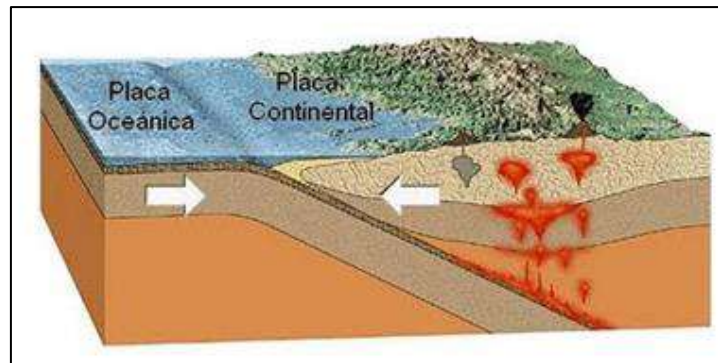
#### **Magmatismo en bordes de placa convergentes o márgenes de placas destructivas.**

Los bordes de placa convergentes son las zonas de subducción de placas, donde tiene lugar la destrucción de la litología y, el estado de evolución tectónica de la zona, diferenciamos zonas de arco insular y márgenes continentales activos (orógenos peri-continentales). (Figura N° 4).

La fricción que se produce en el movimiento de la litosfera a lo largo del plano de Benioff genera una gran cantidad de calor que puede dar lugar a la generación de magmas.

Además, cuando la placa en subducción alcanza profundidades superiores a los 100 km, la temperatura alcanzada puede producir la fusión parcial de la corteza oceánica subducente. Tenemos por tanto dos procesos generadores de magmas primarios: a partir de materiales peridotíticos del manto y a partir de la corteza oceánica subducente. Se ha propuesto un modelo para la generación de estos magmas basados en el estudio de los arcos insulares, que explica de diferente modo la generación de estos dos tipos de magmas primarios:

A una profundidad de 80 km, el aumento de T y P provoca la deshidratación de los minerales hidratados de la parte superior de la placa. El agua originada escapa hacia el manto favoreciendo el ascenso diapirico de masa peridotíticas hidratadas, por su menor viscosidad; estas masas de peridotita (enriquecidos en Fe). La posterior diferenciación también puede dar lugar rocas progresivamente más ácidas.



**Figura N° 4 :** Magmatismo de placas convergentes o zonas de subducción de placas (Según Copyright@ Pearce Prentice Hall Inc. 2005).

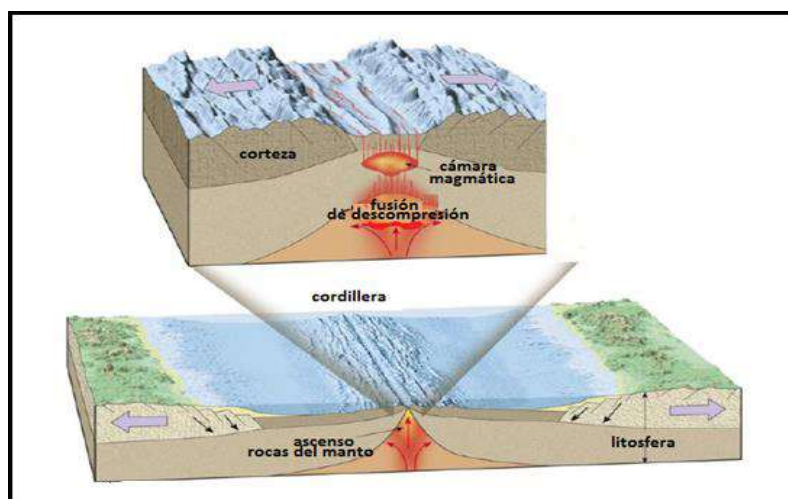
- A partir de 100 km de profundidad de la fusión de la corteza oceánica subducente originaria magmas de naturaleza menos básica que su entorno, que irán reaccionando con los componentes del manto, transformando a las peridotitas en piroxenitas, más ligeras que las rocas de su entorno, las cuales tenderían a ascender diapíricamente. Durante este ascenso podría ocurrir la fusión de las rocas piroxeníticas, originando magmas de naturaleza calcoalcalina.

#### **Magmatismo en bordes de placa divergentes o márgenes de placas constructivas.**

En los tipos de tipo divergente (y sobre todo en las dorsales) tiene lugar más del 80% del magmatismo total del planeta.

Las dorsales oceánicas representan las zonas donde produce el ascenso de los magmas originados por la fusión parcial de manto peridotítico subyacente. Al la solidificación del material arrojado se va agregando a los bordes de placa y se va generando nueva litosfera oceánica.

Las rocas de las dorsales y de los fondos oceánicos son sistemáticamente basálticas toleitico-olivínicos, tipo MORB – Mid Oceanic Ridge Basalts. (Figura N°. 5).



**Figura N° 5 :** Magmatismo de placas divergentes o márgenes constructivos (Según copyright@ Pearce Prentice Hall Inc. 2005).

El magmatismo en las dorsales se produce por el ascenso convectivo de material peridotítico del manto desde zonas de elevadas presiones y temperaturas hacia otras de menor presión. La disminución de la presión favorecerá la fusión, formándose los



magmas primarios que estruieran a favor de la intensa fracturación superficial que caracteriza al límite divergente de placas.

Parte de estos magmas puede consolidarse en condiciones intrusivas, en el interior de cámaras magmáticas, formando rocas plutónicas básicas y ultrabásicas (gabros, anortositas, diabasa, peridotitas).

**Magmatismo en bordes de placa transformantes.**

En estas zonas, los movimientos de las fallas transformantes favorecen, en ocasiones, la extrusión de magmas de tipo basáltico, aunque el magmatismo es muy escaso y las cámaras magmáticas se utilizan profundidad que en las dorsales (30 km). (Figura N° 6).

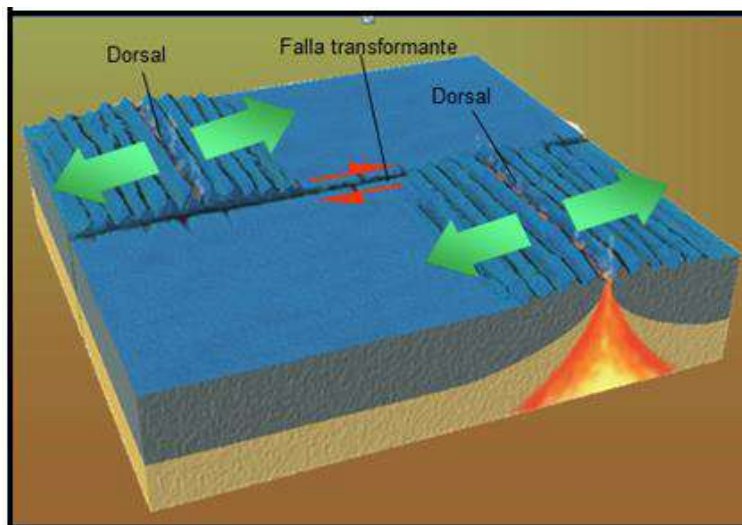


Figura N° 6 : Magmatismo en bordes de placas transformantes. (Google, Eart Science. 2017)

**Magmatismo en zonas de intraplaca oceánica y continental.**

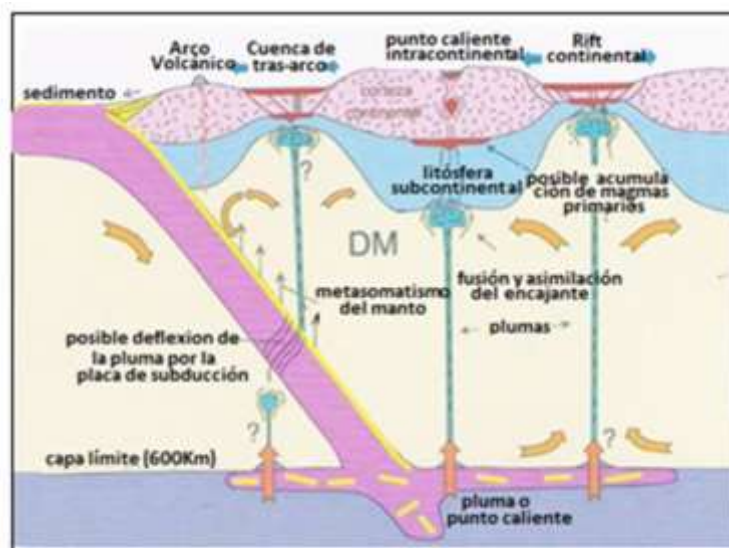


Figura N° 7 : Magmatismo en intraplaca continental y sus diferentes ambientes de emplazamiento del magmatismo, (Modificado de Winter, 2001).

Las zonas de intraplaca constituyen un vasto dominio, que contrasta marcadamente con la linealidad de las zonas de límite entre placas. Los procesos magmáticos que en ellas se desarrollan son muy escasos y extremadamente heterogéneo (Figura N° 7)

La principal hipótesis térmica sobre los procesos magmáticos en el interior de las placas es la del punto caliente. Un punto caliente (hot spot o mantle plumes) es una región del manto inferior, en las proximidades del núcleo, que tiene una temperatura mayor que su entorno; este **punto caliente** serie el ascenso de convectivo del material (pluma convectiva). Cuando esta llega relativamente cerca de la superficie tiene lugar una fusión parcial del material, fusión que genera magmas primarios de naturaleza toleítica o de naturaleza alcalina.

Estos accidentes responden a la existencia de un punto caliente bajo la litosfera oceánica. La existencia de un punto caliente en profundidad y el magmatismo que a él va asociado puede tener diferentes expresiones superficiales:

- Regueros de islas volcánicas: por el movimiento de la placa mientras el punto caliente permanece en la misma posición, un ejemplo es el archipiélago de Hawái.
- Otras formaciones de origen magmático que resaltan sobre el fondo oceánico son las dorsales asimicas, lo guyots y las mesetas oceánicas.

En las zonas continentales es mucho más difícil que la existencia de un punto caliente térmica adyacente se manifieste superficialmente en procesos ígneos, debido al espesor de la litosfera continental; si esta no es excesivamente gruesa y la anomalía térmica es importante, pueden registrarse fenómenos volcánicos importantes (Yelloswatone, kimberlitas de África Occidental). Si la placa esta esencialmente inmóvil, el punto caliente puede ocasionar la fusión de la corteza continental, dando lugar a plutones graníticos (**granitos Anorogénicos**).

Si bien la mayor parte de los volúmenes de magma generados en nuestro planeta se emplazan a favor de zonas de convergencia o de divergencia de placas, existe un elevado número de puntos activos y de unidades de origen ígneo preservadas en el registro geológico que se sitúan fuera de las zonas de contacto entre placas, esto es, en el interior de las mismas. Las rocas emitidas en estos contextos, responden composicionalmente a dos grandes grupos:

- Basaltos intraplaca oceánica u “Oceanic Island Basalts” (OIB). “Oceanic Island Toleitas”-OIT y basaltos alcalinos OIA.
- Basaltos intraplaca continental o “Continental Flood Basalts” (CFB).

Los puntos activos correspondientes a cada uno de estos tipos suelen tener una elevada longevidad a escala geológica de tiempo, esto es, permanecen activos durante varios millones de años, lo que da origen a unidades volcánicas considerablemente potentes (trapps basálticos) o bien alineaciones de edificios volcánicos (muy comunes en el caso del magmatismo intraplaca oceánica).

Al igual que ocurre en el magmatismo relacionado con los “procesos de rifting” activo, relacionados también con el desarrollo de “plumas mantelicas”, los materiales emitidos son principalmente basaltos toleíticos (OIT) y alcalinos (OIA).

Los OIT son muy similares a los basaltos de dorsal oceánica desde el punto de vista composicional, y de hecho se solapan en parte con las composiciones de tipo MORB, existiendo diferencias respecto a los basaltos alcalinos. Desde el punto de vista de la petrología, los CFB son basaltos toleíticos similares a los MORB y OIT, aunque generalmente muestran signos de una cierta diferenciación.

**Tabla N° 10** : Ambientes geotécnicos y el tipo de magmatismo. (Rivera, 2014).

CARACTERISTICAS DE LOS AMBIENTE GEOTECTONICOS			
TIPO DE MARGEN	DIVERGENTE	CONVERGENTE	TRANSFORMANTE
MOVIMIENTO	Extension	Subduccion	Deslizamiento lateral
EFEECTO	constructivo (se crea litosfera)	Destructivo (se destruye litosfera)	Conservativo (ni se destruye, ni se crea litosfera)
TOPOGRAFIA	Dorsal/ Rift	Fosa y/o Cordillera de plegamiento	Poco destacable
VULCANISMO	Si (Basaltos)	Si (andesita)	No
SISMICIDAD	Si (de foco somero)	Si (de foco somero intermedio y profundo)	Si (de foco somero)

Desde el punto de vista de la geoquímica de elementos mayores, su composición es muy similar al de los basaltos e tipo MORB, pero, sin embargo, su composición en los elementos traza es ligeramente diferente y se aproxima más a la de los basaltos de tipo IOB. Estas diferencias son también observables cuando se consideran las composiciones isotópicas de Nd y Sr de estas rocas. En líneas generales los ambientes geotécnicos presentan características particulares (Tabla N° 10).

#### **b. NATURALEZA GEOQUIMICA DE LOS MAGMAS.**

Los magmas por su naturaleza geoquímica se presenta en tres formas: alcalinos, calcoalcalino y toleíticos y se emplazan en los diferentes ambientes geotécnicos, predominando los magmas toleíticos en las dorsales mesooceánicas, en los rift continentales, arcos puntuales y margen continental pasivo y activo arcos volcánicos y en las plumas calientes intra placa oceánica, intra placa continental se presentan los magmas alcalinos y los magmas calcoalcalinos en los arcos insulares de placa continental activa (Figura N° 8).

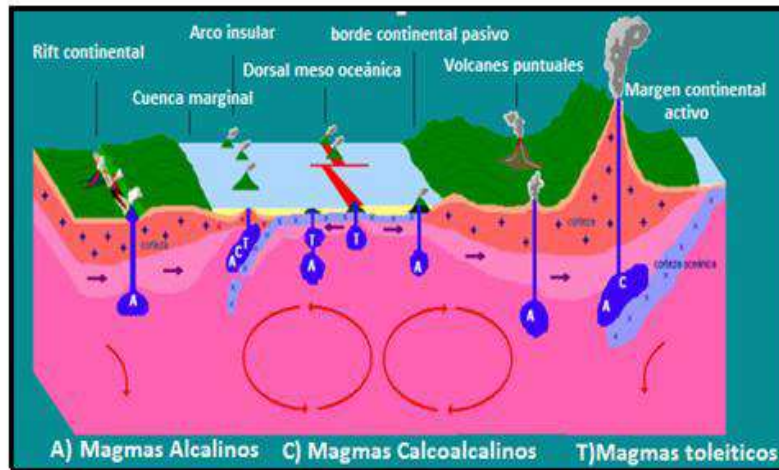


Figura N° 8 : La naturaleza geoquímica y los ambientes geotectónicos. (Google, Earth Science. 2017)

**c. ASOCIACIÓN PETROTECTONICA Y AMBIENTES TECTONICOS**

Es un conjunto o serie de rocas formadas en un ambiente tectónico determinado (Dickinson, 1971).

Premisas e Hipótesis.

- Los magmas son creados por la fusión de la corteza y/o manto, ya que no existen reservorios permanentes.
- La fusión es respuesta a un episodio dinámico (tectónico) dado que el calor localizado por concentración radioactivo es solo localmente suficiente.



Figura N° 9 : Ambientes geotectónicos y el tipo de magmatismo (Según Dickinson, 1971).

Para su formación necesita de:

- Aumento de temperatura (ascenso, fricción y subducción).
- Decrecimiento de presión (fallamiento, diapirismo, levantamiento regional) importante en ambiente de RIFT.
- Aditamiento de volátiles (baja las condiciones P y T del sólidos) muy importante en zonas de subducción.



**Clasificación de Asociaciones Según, (Condie, W; 1981).**

<p><b>1. ASOCIACIÓN PETROTECTONICAS DE MÁRGENES DESTRUCTIVOS</b></p> <p>a. Ante arco continental. b. Arco continental c. Arco de islas</p> <p><b>2. ASOCIACIÓN PETROTECTONICAS DE MÁRGENES COLISIONALES.</b></p> <p>a. Magmatismo sincolisional (granitos-deformados). b. Magmatismo post-colisional. c. Riolitas de plateaux-colisionales.</p> <p><b>3. ASOCIACIONES PETROTECTONICAS DE MÁRGENES CONSERVATIVOS.</b></p> <p>a. Fallas transformantes.</p>
---

**Clasificación de Asociaciones Según, (Dickinson, 1971).**

<p><b>1.- ARCO DE SILAS</b> Series toleíticas inmaduras Series calcoalcalinas maduras</p> <p><b>2.- ARCOS CONTINENTALES</b> Toleitas de arco Series calcoalcalinas Series shoshoníticas</p> <p><b>3.- RETROARCO</b> Series bimodales Basaltos Riodacitas</p>	<p><b>4.- LITOSFERA POTENTE</b> Basaltos alcalinos</p> <p><b>5.- LITOSFERA ATENUADA</b> Basaltos tholeíticos Riolitas</p> <p><b>6.- PLATEAU RIOLITICOS</b> Riolitas</p> <p><b>7.- PLATEAU OCENANICOS</b> Basaltos alcalinos</p>
--	---

**2.2.6 GEOQUIMICA DE LOS ANALISIS DE ROCA TOTAL**

La Petrología es la síntesis de la composición de la corteza terrestre y el manto superior reflejada en sus rocas, por lo que el estudio de los minerales petrológicos formadores de rocas es indispensable y punto de partida para lograr el razonamiento petrogenético. Estos conceptos son complementados con la petrología sintetizada en el concepto de diferenciación y asimilación magmática, para poder definir los sistemas de cristalización. Se toma como herramienta a la geoquímica, con la utilización de conceptos fundamentales en diagramas de variación y gráficos que desembocan en el concepto y clasificación de series magmáticas a través de su composición química y su significado y la relación de los cuerpos ígneos y magmas relacionados con la tectónica global.

Por conveniencia los elementos son separados en mayores, menores y traza. Los límites entre los grupos son arbitrarios, pero los más aceptados son:

- Elementos mayores = >1.0% peso
- Elementos menores = 0.1 – 1.0% peso
- Elemento traza = < 0.1% peso

**a. Elementos Mayores.**

Se les denominan elementos mayores porque están presentes en altas concentraciones y controlan en gran medida la cristalización de los minerales petrogenicos en las rocas a partir de fundidos. Son los elementos químicos que predominan en cualquier análisis de rocas, estos son: Si, Al, Fe, Mn, Ca, Na, K, P, Ti y sus concentraciones están expresadas como óxidos en porcentaje de peso (%).

Las determinaciones de los elementos mayores están hechas solo para cationes y se asume que ellos están acompañados por una apreciable cantidad de oxígeno.

Así la suma de los óxidos de los elementos mayores totalizara del 100%. Los volátiles tales como el H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, S están normalmente incluidos en los análisis de los elementos mayores asimismo las pérdidas por ignición (ppi).

El hierro puede ser determinado como FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pero algunas veces se le expresa como <<hierro total>> o como FeO total y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total para ello se realiza se realiza una conversión mediante un coeficiente 1,1113. Para que los datos de los elementos mayores se puedan graficar es necesario calcular dichos datos sin tener en cuenta los fluidos y volátiles, es decir, hay que descontar los valores de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, pérdidas por ignición (ppi) mediante la fórmula:

$$\frac{[\text{óxidos}] - [\text{volátiles}]}{[\text{Óxidos}]} = \frac{100\%}{Xi}$$

**b. Elementos Menores.**

Comúnmente se presentan en concentraciones de 0.1% a 1.0% pero y sustituyen a algunos elementos en los minerales principales, por ejemplo, el Mn sustituye al Fe o al Mg en los minerales maficos. Si están en concentraciones suficientemente altas pueden llegar a formar minerales independientes, que se denominan petrológicamente como minerales accesorios.

Otros ejemplos, si hay suficiente Zr se forma zircón o si hay suficiente P se forma apatito y Ti puede formar rutilo o titanita o si hubiera suficientes óxidos de Ti y Fe se puede formar ilmenita.

**c. Elementos Traza.**

Los elementos trazas están definidos como aquellos elementos que están presentes en proporciones menores 0.1% (1000 ppm). Los elementos traza, están demasitados diluidos como para formar fases separadas, ellos actúan estrictamente sustituyendo a elementos mayores y menores en las estructuras minerales. La concentración y distribución de los elementos traza pueden ser utilizados para estudiar la evolución de los magmas, actuando como trazadores para establecer el origen de los magmas para discriminar procesos magmáticos. Algunos elementos se comportan como elemento mayor en un grupo de rocas y como elemento traza en otro grupo de rocas.

Un ejemplo es el elemento K, el cual es un elemento constituyente de las riolitas alcanzando más de 4% de la roca y formando una parte de la estructura esencial de

minerales tales como ortosa y biotita. En algunos basaltos, sin embargo, las concentraciones de K son muy bajas y no hay fases relacionadas al K, en este caso, el K se comporta como un elemento traza.

### **APLICACIONES DE LA DATA DE ELEMENTOS MAYORES.**

Se examinará la manera en que la data de elementos mayores se utiliza en geoquímica. El debate se limitará a los diez elementos que figuran tradicionalmente como los óxidos de un análisis químico de los elementos mayores.

#### **Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P.**

Los geoquímicos hacen uso de la data de los elementos mayores como para tres objetivos:

- En la clasificación de rocas
- En la construcción de diagramas de variación
- Como un medio de comparación entre composiciones de rocas determinadas experimentalmente, cuyas condiciones de formación son conocidas.

Además, los elementos mayores se utilizan, a menudo junto con los elementos traza, en la identificación de la configuración original tectónica de las rocas ígneas y algunas rocas sedimentarias.

La aplicación de los elementos químicos mayores en la clasificación de las rocas y nomenclatura es ampliamente usada en la petrología ígnea pero también usada para algunas rocas sedimentarias.

El segundo uso de la data de elementos mayores, en la construcción de diagramas de variación, muestra los datos como datos bivariable o trivariable en cada grafica X - Y o en grafico triangular. Este tipo de diagramas es usado para mostrar la interrelación entre elementos en un conjunto de datos y a partir de estas interrelaciones los procesos geológicos se pueden inferir.

Los diagramas de variación no son restringidos en su uso a los elementos mayores y será discutido una vez más en las secciones posteriores.

El tercer uso de la data de elementos mayores es el ploteo de la composición química de una roca ígnea dentro de un diagrama de fase- se asume que la química de la roca es la misma que la masa fundida ígnea original. En este caso la comparación de las composiciones de las rocas son la determinación experimental de los límites de la fase de fundidos de composición similar, en virtud de una serie de condiciones físicas puede permitir hacer inferencias acerca de las condiciones de fusión y/o la historia posterior de la cristalización de la masa fundida.

### **DIAGRAMA DE PRESENTACIÓN GRAFICA DEL QUIMISMO.**

Los diagramas en los que se presentan de un modo grafico el quimismo de una roca determinada p de una serie de rocas, sirven no solo para dar una idea de los constituyentes químicos y su variación con el proceso de cristalización o evolución de las series (Fernández, S; et al. 1991).

Las principales condiciones que deben cumplir los diagramas de variación son:

- Deben ser ímpares.
- Deben mostrar claramente las relaciones del quimismo.
- Deben rápidamente relacionarse los datos químicos originales y los puntos de diagrama.
- Deben ser aplicables a la mayor parte de las rocas, es decir, no ser demasiado específicos.

Para decidir si una serie de rocas pertenecen o no a una familia petrográfica representada en un diagrama bivariados hay varios criterios:

**Criterio especial.** - Las rocas pertenecientes a una misma provincia suelen estar agrupadas geográficamente, a veces a lo largo de grandes fallas o alineaciones tectónicas.

**Criterio Temporal.** - las rocas han de haberse originado con una cierta continuidad tectónica.

**Criterio composicional.** - las rocas han de tener una serie de caracteres composicionales comunes, tanto texturales como mineralógicos y químicos, de modo que el cambio de unas rocas o otras se hace no de un modo brusco sino a través de variaciones graduales.

**Tabla N° 11 :** Resumen de Esquemas de clasificación de Rocas usando Elementos Mayores.<sup>10</sup>  
(Mamani, 2012)

<b>RESUMEN DE ESQUEMAS DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS USANDO ELEMENTOS MAYORES</b>
<p><b>ROCAS IGNEAS</b></p> <p><b>1.- Ploteo Óxidos-Óxidos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diagrama TAS: Sílice-Álcalis Total</li> <li>➤ Para rocas volcánicas</li> <li>➤ Para rocas plutónicas</li> <li>➤ Para diferenciar entre series de rocas alcalinas y subalcalinas</li> <li>➤ Para diferenciar las diferentes rocas subalcalinas</li> <li>➤ Diagramas de Saturación</li> </ul> <p><b>2.- Clasificación de Cationes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ - Rocas Volcánicas y Plutónicas usando R1 y R2</li> <li>➤ - Rocas Volcánicas Komatíticas, Toleíticas y Calco-alcalinas usando el Ploteo Jensen.</li> </ul> <p><b>3.- Clasificaciones basadas en Normas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Clasificación de Basaltos usando el diagrama Ne-Di-Ol-Hy-Q</li> <li>➤ Clasificación de Granito usando el diagrama Ab-An-Or</li> <li>➤ Clasificación de rocas Volcánicas y Plutónicas usando Q-(F)-ANOR</li> </ul>

Con la aplicación de los análisis de fluorescencia de Rayos X, muchas investigaciones geoquímicas produjeron un gran volumen de data de elementos mayores. Así, cada vez es útil y en algunos casos es necesario tratar de clasificar las rocas sobre la base de su composición química.

<sup>10</sup> Ne:Neón, Di: Didimio, Q: Cuarzo, F: Foidolitas, Or: Ortosa, An: Anfíboles,

Los criterios empleados en la evaluación de un esquema de clasificación es que debe ser fácil de usar y ampliamente aplicable, su base lógica debe ser fácilmente entendida y que, en lo posible, debe reflejar exactamente la nomenclatura existente, basado en criterios mineralógicos.

En todos los diagramas bivariantes se utiliza el criterio composicional.

### **DISCRIMINADORES TECNICO Y GEOQUIMICA.**

Usando la química de basaltos (+andesitas) es posible distinguir entre los diferentes regímenes tectónicos en que ellos se habrían generado.

Los diagramas fueron constituidos utilizando Elementos Mayores, Traza y tierras Raras. Los diagramas que utilizan elementos inmóviles bajo actividad hidrotermal (por ejemplo, Ti, Zr, Y, Nb, p) pueden ser utilizados en rocas alteradas y hasta meteorizadas.

Los elementos traza y tierras raras deben ser insensibles a procesos secundarios y fáciles de medir con buena precisión.

Los diagramas discriminatorios NUNCA deben usarse como una prueba, solo sirven para “sugerir” una asociación tectónica.

### **2.3 MARCO CONCEPTUAL.**

En el área de estudio las rocas ígneas están relacionadas a tres principales episodios magmáticos que intruyen y sobreyacen a las rocas sedimentarias cretácicas y al basamento metamórfico.

El primero de estos eventos ocurre durante el Paleógeno y resulta en la deposición de la secuencia volcánica Llama. También como emplazamiento de algunos stocks intrusivos (Noble et al., 1990). La segunda fase magmática ocurre durante el Mioceno temprano a medio.

El inicio de este periodo magmático coincide con un numero de importantes eventos tectónicos que incluye una rotación en sentido del reloj de la placa de Nazca, incremento la ratio de convergencia, generando algunas fases de deformación y un principal levantamiento en el norte del Perú. (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Noble et al., 1990).

Las rocas volcánicas se encuentran intensamente relacionadas al proceso dinámico de subducción de la corteza oceánica-placa de Nazca, bajo la corteza continental-placa Sudamericana con un ángulo de 30° a una tasa de convergencia de 110+-8mm/año. (Pardo-Casas & Molnar, 1987). EL último episodio define el principal periodo de formación de los pórfidos y fue caracterizado por un amplio vulcanismo.

Estratigráficamente existen depósitos volcánicos de edad Cenozoica ubicados en el sector central y noroeste del área de estudio suprayacen en discordancia angular a las secuencias sedimentarias del Mesozoico, (Benavides, 1956). Mientras en el sector oeste sobreyacen en algunos casos a rocas intrusivas atribuidas al Batolito de la Costa (Wilson, 1984), y están rellenando paleoquebradas y paleovalles labrados en una superficie de erosión de edad Paleo-Eocena.

Regionalmente hay más de 2 km de estrato cretácico compuesto por areniscas del Grupo Goyllarisquisga, sobreyacidas por un estrato calcáreo de las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrún y finalizando con la formación Cajamarca.

Petrológicamente, las rocas intrusivas en la zona de estudio se encuentran en un rango desde gabro, gabro horblendico, (Davies 2002), hasta diorita – granodiorita. Los diques de gabro son por lo general débilmente porfiríticos, así mismo los stocks dioriticos tienen una moderada a fuerte textura porfirítica. Las rocas intrusivas félsicas están mayormente caracterizadas por ensambles de minerales hidratados de plagioclasa + hornblenda + biotita + cuarzo y raro clinopiroxeno, (Davies 2002).

Metalogéticamente comprende siguientes franjas: Franja I.-Depósitos de Au en rocas metasedimentarias del Ordovícico – Silúrico-Devónico, Franja VI. - Pórfidos skarn de Cu-Au del jurásico superior, Franja X.- Pórfido de Cu-Mo y vetas polimetálicas del cretáceo superior – Paleoceno, Franja XVI.- Depósitos tipo MVT de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno, Franja XX.-Pórfidos de Cu-Mo, skarn de Cu-Zn-Pb-Pb-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Franja XXIV.-Depósitos de paleoplaceres en rocas sedimentarias del Plioceno-Pleistoceno. Dicha región alberga importantes yacimientos en operación, prospectos y proyectos.

Es la aplicación práctica de los principios geoquímicos en la exploración de depósitos minerales metálicos y no metálicos. Se concentra, particularmente, sobre la abundancia, distribución y migración de los elementos minerales o elementos estrechamente asociados con los minerales, con el fin de detectar depósitos metálicos tales las que se mencionó líneas arriba.

La prospección geoquímica puede ser dividida en varias etapas y fases de acuerdo a su nivel de estudio: Prospección Regional: con el fin de detectar anomalías geoquímicas. Abarca estudios preliminares en regiones mayores de 5,000 km<sup>2</sup>, y en distritos mineros entre 500 y 5 000 km<sup>2</sup>, Prospección Detallada: generalmente para definir la anomalía detectada anteriormente y relacionarla a mineralización. En áreas de 5 a 50 km<sup>2</sup>, hasta blancos menores de 5 km<sup>2</sup>.

La prospección geoquímica tiene cinco 5 componentes: Diseño y Planeamiento, el muestreo sistemático de los materiales naturales apropiados, seguido por estudios de laboratorio, para la preparación de la muestra y la determinación del contenido de algunos elementos, los cuales son indicadores de mineralización usando varias técnicas analíticas altamente sensibles, procesamiento de los resultados analíticos con ayuda de la estadística; y la interpretación de la información resultante usando todo el conocimiento geológico y geoquímico disponible. Apoyados a estudios de orientación son descritos como una serie de experimentos preliminares para determinar el carácter de la dispersión geoquímica relacionada a la mineralización en una localidad dada.

La fase de interpretación de un programa de prospección geoquímica está caracterizada por dos hechos esenciales: la gran cantidad de datos a ser interpretados y la calidad de estos datos provenientes de una buena toma de muestras.

Los métodos de muestreo y analíticos a veces deben sacrificar la calidad de la toma de muestras y de los análisis, por la velocidad o el tiempo de la campaña.

Los parámetros geoquímicos usados en la prospección geoquímica son: el Background, Threshold y Anomalías geoquímicas.

- **Background.** - La abundancia background, se puede definir como el “valor normal” o de fondo del material de un ambiente geológico, geomorfológico y geoquímico determinado.



- **Threshold.** - Se define como los límites de fluctuación local y regional del valor normal, o viene a ser el límite superior de la fluctuación del background normal y estadísticamente se representa por la fórmula:

$$T = \text{Media geométrica} + 2 \text{ desviaciones estándar.}$$

Una anomalía geoquímica es un contenido anormal alto o bajo de un elemento o una combinación de elementos en un tipo de muestra particular, en un ambiente particular medido por una técnica analítica particular. La anomalía geoquímica se define como el valor por encima del Threshold. Anomalías significativas, son las anomalías que están relacionadas a mineralización y que puede ser usado como guía en la prospección. Para todo propósito práctico las anomalías significativas están caracterizadas sólo por concentraciones anormales de valores altos de los elementos indicadores.

## 2.4 GLOSARIO

En la presente investigación se basa en muchos procesos geológicos-geoquímicos cuyos términos que va a emplear con mayor frecuencia y sobre las cuales contribuyen las fases del conocimiento científico.

**Petrogenesis:** los análisis químicos de elementos menores y tierras raras ligeras y pesadas con llevan a determinar la génesis de las rocas; es decir su petrogenesis, al ser estos elementos incompatibles, tienden a concentrarse en fase fundida que resulte de la fusión del magma y también tienden a permanecer en la fase fundida durante la cristalización fraccionada de un magma.

**Química de los Magmas:** los análisis de las rocas profundas permiten dar una idea de la composición química del magma con excepción de los componentes volátiles. La existencia de mucho oxígeno hace que los elementos formen óxidos. La cantidad que existe de estos, condiciona la variación de los magmas. Expresando en tanto por ciento del análisis total.

**Procesos Igneos:** los principales procesos por los que se generan las rocas ígneas son la: fusión parcial, la cristalización fraccionada, la mezcla de magmas y la asimilación.

**Ambientes Geotectónicos:** la teoría de la Tectónica de Placas contribuye a la Geología actual un marco unitario de interpretación para la génesis del conjunto de las rocas ígneas. La contribución relativa de cada ambiente geológico al magmatismo terrestre es que más del 80% del magmatismo se produce en las márgenes constructivas de placas, o sea casi siempre en la profundidad de las cuencas oceánicas.

**Asociación Petroitectónico:** es un conjunto o serie de rocas formadas en un ambiente tectónico determinado.

**Naturaleza Geoquímica de los Magmas:** los magmas por su naturaleza geoquímica se presentan en tres formas: alcalinos, calcoalcalinos y toleitos y se emplazan en los ambientes geotectónicos.

**Geoquímica del Magmatismo:** toma como herramienta a la geoquímica, con la utilización de conceptos fundamentales en diagramas de variación y gráficos que desembocan en el concepto y clasificación de seres magmáticas a través de su composición química, significado y la relación de los cuerpos ígneos y magmas relacionados con la tectónica global.



**Diagramas del Quimismo:** los diagramas en los que se representan de un modo gráfico el quimismo de una roca determinada o de una serie de rocas, sirven no solo para dar una idea de los constituyentes químicos y su variación con el proceso de cristalización o evolución de las series.

**Diagramas para clasificar rocas:**

**Diagrama TAS:** para clasificar las rocas ígneas tanto volcánicas y plutónicas en base de los álcalis y la sílice.

**Diagramas e saturación de alúmina:** para clasificar a las rocas en metaluminosas, peraluminosas y peralcalinas.

**Diagramas Harker:** para determinar las correlaciones entre los óxidos y elementos.

**Diagrama R1:R2:** para clasificar las rocas plutónicas.

**Diagrama de Irvine-Baragar:**  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  para clasificar rocas alcalinas y subalcalinas.

**Diagramas de Ringwood:**  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  para clasificar rocas alcalinas de alto, medio, bajo potasio.

**Diagramas para los procesos de cristalización.**

**Diagramas e tierras raras normalizadas:** para conocer proceso de cristalización.

**Diagramas de Proporciones de tierras raras y variantes:** para relacionar las tierras raras.

**Diagramas Spider multielementales:** para determinar el comportamiento de dichos elementos y encontrar anomalías.

**Diagramas de elementos de transición normalizados**

**Diagramas de dispersión primaria:** de los elementos económicos.

**Diagramas para ambientes geotectónicos**

**Diagrama de Shand:** saturación de alúmina.

**Diagrama de Whalen:**  $\text{Ga}/\text{Al}$  vs  $\text{Y}$

**Diagramas de Pearce:**  $((\text{Y}+\text{Nb}))$  vs  $\text{Rb}$

**Diagramas de Pearce:**  $(\text{Y}+\text{Nb})$  vs  $\text{Nb}$

**Diagramas  $(\text{Yb}+\text{Ta})$  vs  $\text{Rb}$**

**Diagramas para encontrar profundidad.**

**Diagramas  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Ce}/\text{Y}$**

**Diagramas  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  vs  $\text{Ce}/\text{Y}$**

**Diagramas para determinar fluidos hidrotermales**

**Diagramas  $\text{U}$  vs  $\text{Th}$**

**Diagramas  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{FeO}$**

**Diagramas  $(\text{Ca}+\text{Ca}+\text{K})$  vs  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$**

**Diagramas  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  vs  $\text{FeO}$  total.**

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGIA

Como parte de la metodología propuesta, se comenzará con una etapa de pre-campo realizando una recopilación y síntesis de la información geológica generada hasta el momento en la zona de estudio, abarcando estudios regionales, de geoquímica y geocronología de rocas, integrando las diferentes capas de información disponibles. En esta etapa se procederá a la elaboración de mapas preliminares, definición de accesos, diseños de muestreo, y modo de trabajo en campo.

En la etapa de campo se realizará la recolección de muestras de roca para análisis geoquímico de acuerdo al plan preliminar y la recolección de muestras de mano para estudios petromineralógicos secciones delgadas y pulidas. Se realizará un cartografiado regional de las zonas de interés a escala 1:25000.

En gabinete, se realizarán estudios de petromineralogía en sección delgada y pulida. Se realizará el análisis químico en laboratorio de los elementos mayores, tierras raras y trazas por varias técnicas RXF, ICP-MS; y por Au el análisis por ensayo al fuego. Los resultados de geoquímica serán procesados e interpretados para la caracterización geológica. Las zonas que presenten concentraciones anómalas serán evaluadas para ser recomendadas a desarrollar futuros estudios de prospección.

**Unidad de análisis.** - Rocas intrusivas que afloran en los cuadrángulos de Jaén y San Ignacio de la región Cajamarca.

**Población de estudio.** - Cordillera Occidental, región Cajamarca, Perú. Un estimado de 26 muestras de roca.

**Tamaño de muestra.** - Muestras de roca de entre 2 y 3 Kg. Muestras de mano de hasta 1 Kg para los estudios de sección delgada y pulida.

**Selección de muestras.** - Rocas tanto frescas como alteradas para evaluar el potencial por metales preciosos y metales base. Roca fresca y sin alteración para los estudios de geoquímica de elementos traza para interpretaciones petrográficas.

Datos del proyecto, las muestras de campo, las secciones delgadas, pulidas o delgado-pulidas.

En la segunda fase se procederá a realizar los estudios de caracterización petrológicos y petrográficos, reconocimiento de rocas en muestra de mano, microscopio de luz reflejada o luz transmitida según sea conveniente. Se recolectaron 40 muestras analizadas por ICP-Masa para Análisis Multielemental con fusión de peróxido de sodio para 20 elementos traza. Se seleccionaron 10 de estas muestras para análisis por fluorescencia de rayos X

con borato de Litio, a fin de determinar la composición de óxidos de las rocas ígneas, usadas para determinaciones petroquímicas como alcalinidad y aluminosidad, y para discriminar ambiente tectónico, que en base de técnicas estadísticas puede distinguir entre un ambiente tectónico y otro (Rollison, 1993). Se tomaron datos de campo para corroborar información tectónica y metalogénica.

Durante esta fase también se procederá a interpretar los análisis geoquímicos que se han realizado a las muestras, para ello se utilizará el programa SPSS para la obtención de los gráficos que se analizarán, para después correlacionarlo con los respectivos estudios petrológicos y petrográficos como.

Finalmente, en la última etapa se analizarán los resultados finales del estudio, se obtendrán las conclusiones concretas y precisas de estudio y se hará una revisión final de la tesis para su posterior exposición ante el jurado.

### 3.2 METODO DESCRIPTIVO

Se basa en la recopilación, procesamiento y análisis de la información geológica existente y validada.

#### Técnicas de Recolección de Datos.

Para este trabajo de Investigación se describen las técnicas e instrumentos de recolección de datos en el siguiente detalle:

**a. Análisis documental:** La investigación documental consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto al tema objeto de estudio (Bernal, 2010), mediante el cual se recopilará datos e información necesaria para desarrollar y sustentar éste estudio. Básicamente como su nombre lo indica a través del análisis de documentos existentes, tanto de tipo investigativo, bibliográfico, de información, etc.

Se utilizó como fuente los datos paper, libros, informes, separatas, páginas de internet, etc, referente a temas relacionados con la investigación.

**b. Observación:** La forma obvia de recopilar datos nuevos es observar el comportamiento, bien sea en un ambiente o escenario natural (donde la gente actúe libre y normalmente), en una situación controlada (de laboratorio) o en una observación directa. La ventaja de observar directamente el comportamiento es que la información se obtiene también directamente (Namakforoosh, 2010).

Para nuestra investigación, esta técnica, nos ha permitido realizar una contrastación con la realidad, en función de aquellos aspectos principales como secundarios, cuyos datos no queríamos pasen desapercibidos y se dio durante la fase de recolección de información, para el caso de nuestro estudio.

**c. Internet:** No existe duda sobre las posibilidades que hoy ofrece internet como una técnica de obtener información; es más, hoy se ha convertido en uno de los principales medios para captar información. Por ende, hemos buscado data relacionado a las variables principalmente de la página del INGEMMET.

### 3.3 PASOS METODOLOGICOS

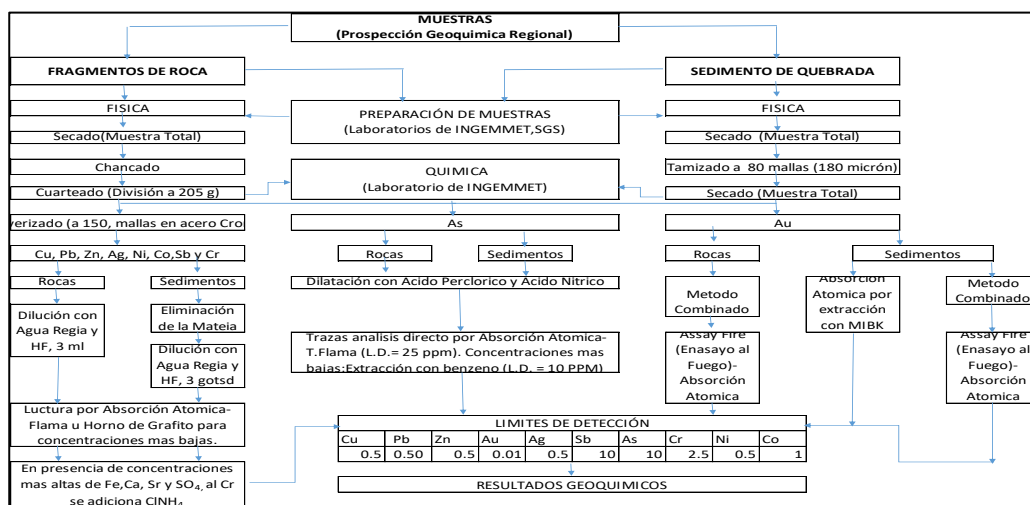
En la presente investigación básica se utilizará data geoquímica proporcionada por INGEMMET-SGS y obtenida en las salidas de campo.

**Metodo Analítico Inductivo.**

Se efectuaron investigaciones bibliográficas y virtuales de algunos estudios anteriores, así como la existencia de información de las características geológicas, estructurales, geoquímicas, así como evidencias de operaciones y proyectos mineros avanzados o indicios de prospectos, ocurrencias minerales y anomalías.

Partiendo y teniendo base sobre lo desconocido y mediante los datos geoquímicos y experimentación a través de la estadística, graficación de datos de los elementos mayores, traza, y tierras raras, se llega a la caracterización geoquímica y determinación de las características geoquímicas de la fuente principal que da origen al magmatismo plutónico y volcánico.

**a. Etapa I:** Esta etapa comprende los trabajos de campo de recolección de muestras de rocas intrusivas, movilizándonos en una camioneta marca Toyota, modelo Hilux, placa AHX-907 año 2015, herramientas como picota de geólogo, brújula, GPS, lápiz de dureza, ácido clorhídrico, cerámica, bolsas de muestreo, mapas geológicos y posteriormente analizadas geoquímicamente en los laboratorios del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) por métodos químicos XRF (Fluorescencia de Rayos X para elementos mayores) ICP-MS (Espectrometría de Masas: Plasma Acoplado por Inducción) para elementos menores y traza e incluidas las Tierras Raras.



**Figura N° 10 :** Esquema de los procesos de tratamiento de muestra en laboratorio, (Modificado de INGEMMET, 2015).<sup>11</sup>

**b. Etapa II:** Esta etapa detalla la búsqueda de data que permitirá analizar los resultados proporcionados por INGEMMET, y la forma de graficación en los diagramas geoquímicos de las variables dependientes e independientes con las cuales se obtuvo información y el conocimiento del magmatismo y los ambientes geotectónicos el cual se emplazaron las rocas intrusivas en la zona Norte de Cajamarca.

11 S: Cu: Cobre, Pb: Plomo, Zn: Zinc, Au: Oro, Ag: Plata, Sb: Antimonio, As: Astatio, Cr: Cromo, Ni: Niquel, Co: Cobalto, Fe: Hierro, Ca: Calcio, Sr: Estroncio, SO<sub>4</sub>: Sulfato, ClNH<sub>4</sub>: Cloruro de Amonio.

**c. Etapa III:** Esta de gabinete consistió en el procesamiento de geoquímico verificando la consistencia de la data geoquímica, de la conversión de la data al 100% eliminando los porcentajes de los análisis sustancias volátiles, fluidos y agua y pérdidas por ignición con el fin de transformar la data solo en óxidos anhidros (proceso de normalización porcentual).

**d. Etapa IV:** Esta consiste con la graficación de la data estadística - geoquímica en los diagramas geoquímicos mediante uso de software. Excel avanzado, SPSS, GEOSOFT, GEOEAS en la obtención de información y su interpretación geoquímica-geológica.

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN

#### Ubicación y Accesibilidad

La zona de estudio geográficamente se ubica dentro de la cordillera occidental norandina, en el extremo septentrional de Perú. Limita por el norte con el vecino país de Ecuador, por el sur con la región de la Libertad, al este con la región de Amazonas el cual se encuentra marcado por la cuenca del Marañón que los separa de esta y al oeste con las regiones de Piura y Lambayeque, exactamente al norte de Cajamarca que comprende políticamente las provincias de San Ignacio y Jaén; abarcando los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Las playas (9-c), Latina (9-d), Las lomas (10-c).

VERTICES: ZONA DE ESTUDIO DATUM-WGS 84		
VERTICES	ESTE	NORTE
VERTICE 1.-	737629	9430448
VERTICE 2.-	738498	9294077
VERTICE 3.-	683745	9430448
VERTICE 4.-	671762	9294958

Las principales vías terrestres de accesos al área de estudio, desde la ciudad de Lima movilizándonos en una camioneta marca Toyota, modelo Hilux, placa AHX-907 año 2015.

ACCESO	DISTANCIA (Km.)	TIEMPO
<b>Lima - Chimbote</b>	428.8	6 hrs y 43 min
<b>Chimbote - Trujillo</b>	130.1	1hra y 49 min.
<b>Trujillo-Cajamarca</b>	246.2	4hrs y 43 min.
<b>Cajamarca – Jaén</b>	559	11hrs.
<b>Cajamarca – San Ignacio</b>	666	13 hrs.
<b>Total:</b>	2030.1	36 horas y 35 min.

De diferentes puntos de estas vías parten trochas carrozables que une numerosos centros poblados. Para las zonas más alejadas se cuenta con caminos de herradura que cruzan



gran parte de la hoja de San Ignacio. Algunos ríos como el Chirinos y el Marañón pueden ser navegables empleando deslizadores o embarcaciones ligeras. Los Ríos Santa Agueda y Aramango son poco frecuentes a ser navegables.

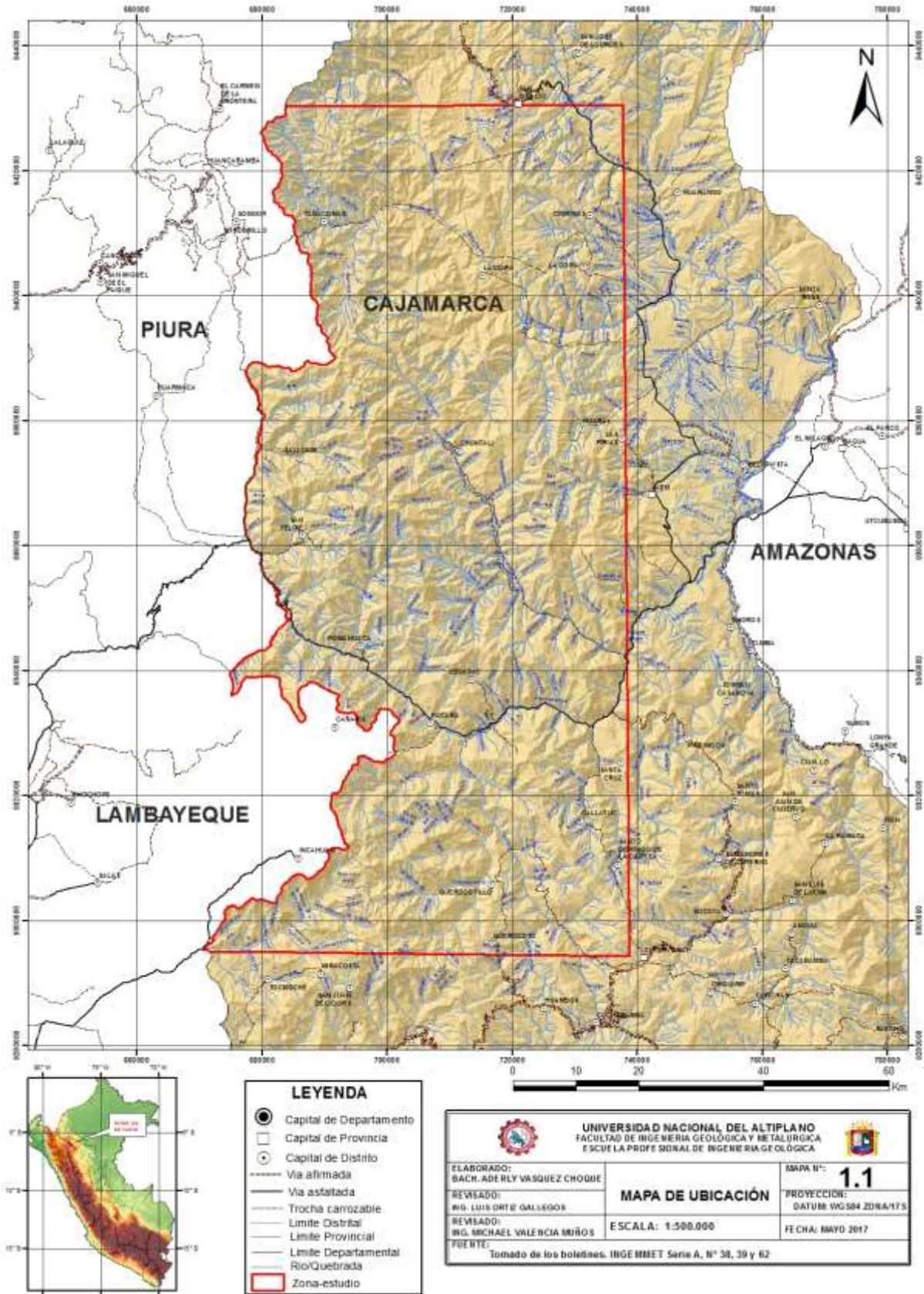


Foto N° 1 : Mapa de Ubicación del segmento de estudio



(Jaen- San Ignacio- Cajamarca)

### 3.4.1 HIDROGRAFIA.

Los constituyen los rios Marañón y Huayllabamba. Estos se encuentran drenados permanentemente por diferentes quebradas a lo largo de su trayecto y fuerte caudal que generalmente fluyen de sur a norte, con dos orientaciones preferenciales: SE-NO en el sector de Cumba, Choros y Almendral, y SO-NE desde Corral Quemado hasta Rentema.

Su recorrido es largo sinuoso, alcanzando cierto anastomosamiento hacia el Norte del centro poblado Bellavista.

Las fuentes principales son los rios Chamaya, Utcubamba y Chinchipe, los cuales disectan el área con direcciones SO-NE, SE-NO y NO-SE respectivamente. Los cuales desembocan en el Oceano Pacífico.

El mayor volumen hídrico lo llevan los rios Marañón, Chinchipe, Utcubamba y Huancabamba - Chamaya. Otros con caudal son el Perene y de menos volumen Huayllbamba, que al unirse al Huancabamba contituyen el rio Chamaya, y la quebrada Jaen que desemboca en el Marañón a la altura de Bellavista.



**Foto N° 2 :** Vista del río Tabaconas  
(Vista desde la carretera hacia el centro poblado-San Juan de Lurdes).

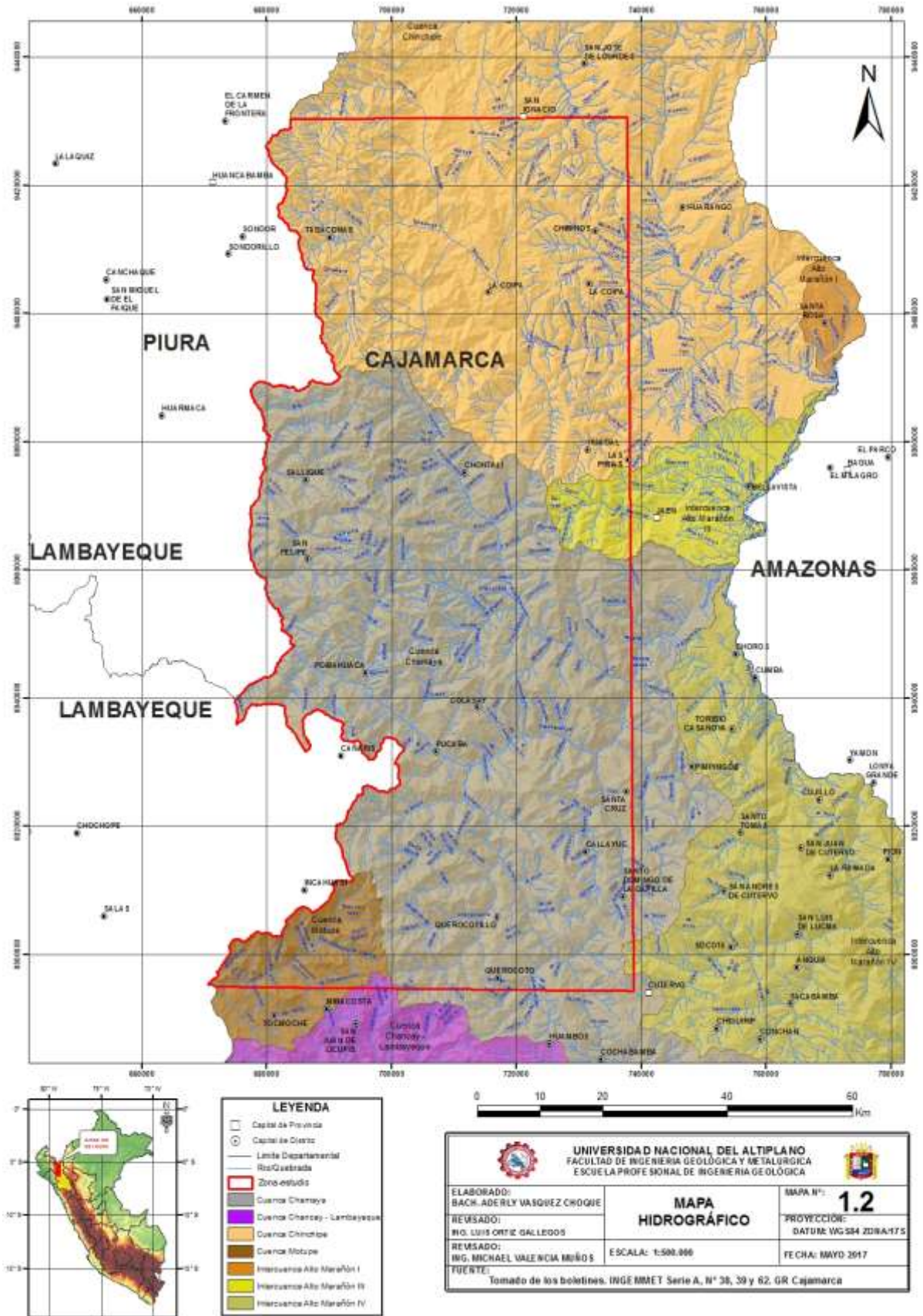


Foto N° 3 : Mapa hidrográfico del segmento de estudio (Jaén- San Ignacio- Cajamarca).

### 3.4.2 CLIMA Y VEGETACIÓN. -

El área de estudio se halla comprendida dentro de la zona de latitudes tropicales y bajo la influencia de los vientos alisios del sureste. Entre noviembre y abril, estos vientos cargados de humedad ocasionan lluvias desde el Atlántico a través del Brasil y caen en las partes altas de los Andes. Muy pocas de estas lluvias transponen la divisoria continental y las estribaciones de la cordillera del lado del pacífico, se trata de un área de escasa lluvia que se vuelve cada vez más árida a medida que la altitud decrece y se aproxima a la costa del pacífico.

Tanto el clima como la cobertura vegetal son variables de acuerdo a la altitud; la cual sobre pasa los 3.000 m.s.n.m en algunas cumbres del sector occidental, mientras que la mayor parte del sector oriental se encuentran entre 1.500 y 400 m de altitud.

La temperatura media anual máxima del área, oscila entre 22°C y 27°C, con un promedio de 24.9°C, correspondiente al área que se encuentra entre Jaén y San Ignacio. Hacia el Oeste tal promedio es ligeramente menor. La variación de la temperatura según las estaciones es mínima, sin embargo, durante el día pueden darse diferencias hasta los 10°C entre el máximo y mínimo.

El promedio máximo de precipitación total por año es de 1,000 mm. (Jaén). Las precipitaciones se presentan durante todo el año, siendo la época más lluviosa entre los meses. Enero y marzo, con una estación relativamente seca entre julio y agosto. La precipitación se incrementa ligeramente en el sector occidental comprendiendo entre San Lorenzo y El Huaco. La humedad se ha estimado en 70.3% (promedio).

De acuerdo al mapa de distribución Climática (Clasificación según W, Koppen) elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (1989), el área de estudio (Mapa 1.2) está comprendida en los siguientes tipos de clima:

- Clima templado moderado lluvioso (Cw): Invierno seco, cantidad de lluvias del más lluvioso 10 veces mayor que el más seco. Este tipo de clima, en el cuadrángulo de Jaén, incluye una variación de temperatura donde el más frío oscila entre 12°C hasta 18°C, que corresponden a las áreas más elevadas.
- Clima tropical permanentemente húmedo (Af): La temperatura media de todos los meses es superior a 24°C. Cantidad de la precipitación anual superior a 750 m.m.

La vegetación natural está conformada por árboles, arbustos y cactáceas, así como plantas herbáceas. Como ejemplo las formaciones ecológicas, tenemos: Bosque Seco-Premontano Tropical (valle de Jaén) y Monte Espino Tropical (Área de Bellavista).





**Foto N° 4 :** Vista tomada frente al pueblo siete de agosto  
(La vegetación es característica de la zona).

### 3.4.3 GEOMORFOLOGIA

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en la Cordillera Occidental, el relieve es accidentado con cotas que van desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm.

### 3.4.4 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

En el segmento de estudio, es posible diferenciar 7 unidades geomorfológicas (Figura N° 14).

- Montañas de Chunchucua - Colapon
- Montañas y colinas del Flanco Cordillerano
- Lomadas y cerros bajos
- Pampas aluviales
- Ladera Disectada
- Valles Juveniles.
- Llanuras.

#### A. Montañas de Chunchucua-Colapon.

Corresponden a las partes más altas y abruptas de las elevaciones comprendidas en este cuadrángulo. Se ubican en el sector occidental del mismo, con una clara orientación Norte – Sur.

El control litológico de esta unidad geomorfológica es claro, ya que se encuentra circunscrito, esencialmente, a los sectores donde afloran rocas intrusivas cretáceas y volcánicos jurásicos. Sus altitudes están entre 1,600 m, hasta aproximadamente los 3,150 m.s.n.m. (cerros Chunchucua, Guayaquil, Calabazo, etc.).

Se caracteriza por ser elevaciones de topografía muy abrupta con laderas de fuertes pendientes, empinados e irregulares. Los puntos más elevados constituyen divisorias locales de quebradas y ríos de discurren por valles en juveniles de corto recorrido, tal como las quebradas Miraflores, Cascarila, De Valencia, etc.

Tiene una red de drenaje sub paralela a dentritica y radial alargada; presentan abundante cobertura vegetal arbórea.

### **B. Cerros y colinas del flanco cordillerano.**

Esta unidad, se desarrolla hacia la zona occidental de la hoja de Jaén, como una franja paralela a las montañas más elevadas.

Presenta, en general, una topografía abrupta a semiabrupta, de laderas con fuertes pendientes hacia el Este y hacia los ríos Chamaya y Huayllabamba. Sus flancos más orientales son las localidades de Mesones Muro, Jaén, Pueblo Nuevo, tienen relieves moderados y corresponden a macizos cuyas estructuras siguen direcciones cambiantes con tendencia hacia el Este. Su drenaje, es subparalelo a paralelo con nacientes dentriticas. Sus altitudes varían entre 1,000 y 2,000 m.s.n.m. litológicamente, esta unidad comprende rocas volcánicas, mayormente de la Formación Oyotún (Foto) y de la secuencia cretácica, que están sometidas a una erosión cada vez más intensa debido al proceso acelerado de deforestación.

Hacia el Oriente esta unidad da lugar a las unidades e pampas y lomadas, claramente diferenciables por su relieve más bajo.

### **C. Valle.**

Las geofomas tipo valle corresponden al río Marañón y sus afluentes principales, los ríos Chamaya y Utcubamba, así como sus ríos y quebradas tributarios.

Los valles que se observan en el área de estudio en parte siguen la estructura geológica regional y en otros casos cortan transversalmente dicha estructura.

- **Valle del Río Marañón.** - este valle presenta en sección transversal un perfil asimétrico, con laderas de poca pendiente que se amplían aún más a partir de Bellavista en dirección al Pongo de Rentema.

Las terrazas fluvio aluviales tiene un amplio desarrollo y se presentan a distintos niveles en ambas márgenes del río, limitado con afloramientos rocosos y/o depósitos de laderas. El río Marañón que discurre de Sur a Norte, tiene un recorrido sinuoso, con la consiguiente formación de islas o barras fluviales en el cauce del río.

Los flancos de este valle, están disectados por numerosas quebradas, que al desembocar en el valle del Marañón acumulan conos de material clástico grueso.

El valle del Marañón tiene un desarrollo maduro y su perfil transversal tiene forma de artesa amplia, con un fondo plano relleno de material aluvial que tiene entre 1 a 1.5 km de ancho en el tramo superior comprendido entre Pampa Colorada y El Chaupe, siguiendo aproximadamente una dirección paralela a la estructura, desde el último lugar mencionado hasta el cerro La Huanguera, la amplitud se reduce a 0.5 km.

Al atravesar las estructuras de las rocas cretácicas, ensanchándose en los lugares donde abunda material cuaternario. Aguas abajo el valle se ensancha (Figura N° 13) notablemente, alcanzando amplitudes de 3.5 km.

- **Valle del Río Chamaya.** - Este río es el principal afluente del Marañón al Sur de Jaén.

Presenta un curso sinuoso teniendo su cauce una pendiente moderada.

Sus principales afluentes son los ríos Huancabamba y Huayllabamba los cuales confluyen en la localidad de Chunchucua Puente; desde aquí hasta el Algarrobo, el río Chamaya presenta cierto encajonamiento, con una amplitud de 300 m, luego su valle es más abierto presentando terrazas fluvio - aluviales; se vuelve a reducir su amplitud aguas abajo del Molino Chamaya en relación con la resistencia de las unidades estratigráficas.

Este valle, tiene un perfil transversal asimétrico, desarrollado mayormente en rocas sedimentarias cretáceas hasta cuaternarias, así como en volcánicos jurásicos, su recorrido general es de SO a SE.

- **Valle del Río Huayllabamba.** - El río de recorrido sinuoso, encajonado en la Formación Oyotun, su perfil transversal asimétrico, tiene un fondo de 100 a 300 m, limitado por paredes más empinadas con tramos encañonados. Este valle tiene una dirección NO a SE.



**Foto N° 5 :** Vista del valle del río Chamaya  
(Centro poblado de tabaconas).

#### **D. Ladera disectada.**

Esta unidad geomorfológica, está conformada por la secuencia sedimentaria cretácica aflorante en el extremo SE del cuadrángulo de Jaén, y constituye el flanco oriental del valle del río Marañón; hacia el NE limita con la unidad de Valle Sinclinal.

Presenta laderas de pendientes moderadas en las partes bajas adyacentes al Marañón, notándose la presencia de zonas de escarpas y morfologías abruptas a semiabruptas en algunas partes altas cumbre de cerros (C° Guyuche, C° El Alicon, C° Pangamito), sus quebradas se caracterizan por ser de recorrido largo, siendo su red de drenaje paralela en los tramos inferiores y medios con características dentriticas en las nacientes.

La cumbre de sus cerros, tienen altitudes de 1,500 a 2,00 m.s.n.m. (C° San Antonio), mientras que sus zonas más bajas tienen cotas aproximadas de 350 m (valle del Marañón). Las pendientes de las laderas son bastantes uniformes debido a la inclinación de las sedimentarias que buzan hacia el SO.



**E. Lomadas y cerros bajos.**

Se distribuye en los alrededores de Bagua (margen derecha e izquierda del río Utcubamba), al Norte y Oeste de Bellavista y al Norte de Jaén (Pampa de Tablones hasta Shumba Bajo).

Estas geoformas son elevaciones por debajo de los 1,000 m.s.n.m., de contornos suaves en su parte occidental y que generan escarpas de erosión debido a la poca consolidación de las secuencias que la conforman; caracterizando por un drenaje paralelo y detrítico, denso en los tramos superiores de las quebradas.

Las geoformas onduladas, de contornos suaves y homogéneos, de baja latitud; están disectadas por quebradas tributarias. Litológicamente, comprende afloramientos de rocas sedimentarias (principalmente cenozoicas).

Presentan desarrollo de suelos y su cobertura vegetal está constituida, principalmente, por arbustos. Las lomadas cubren poca extensión en comparación con los cerros bajos.

**F. Pampas aluviales.**

Son unidades geomorfológicas que se distribuyen en las áreas contiguas al tramo inferior del río Marañón y están delimitados por las elevaciones adyacentes a los valles del Utcubamba y Marañón.

También se encuentra esta geoforma entre Jaén y Shumba.

Estas planicies son llamadas aluviales producidas por el relleno de zonas bajas a partir de quebradas. Un ejemplo de ello es la depresión de Bagua Chica que continua fuera del área de estudio, hacia el SE.

Otras áreas, entre las que destacan La Huanguera, El Valor, Shumba, Guayaquil, se localizan al Este de Bellavista, en la margen derecha del río Marañón y al Norte de Jaén respectivamente.

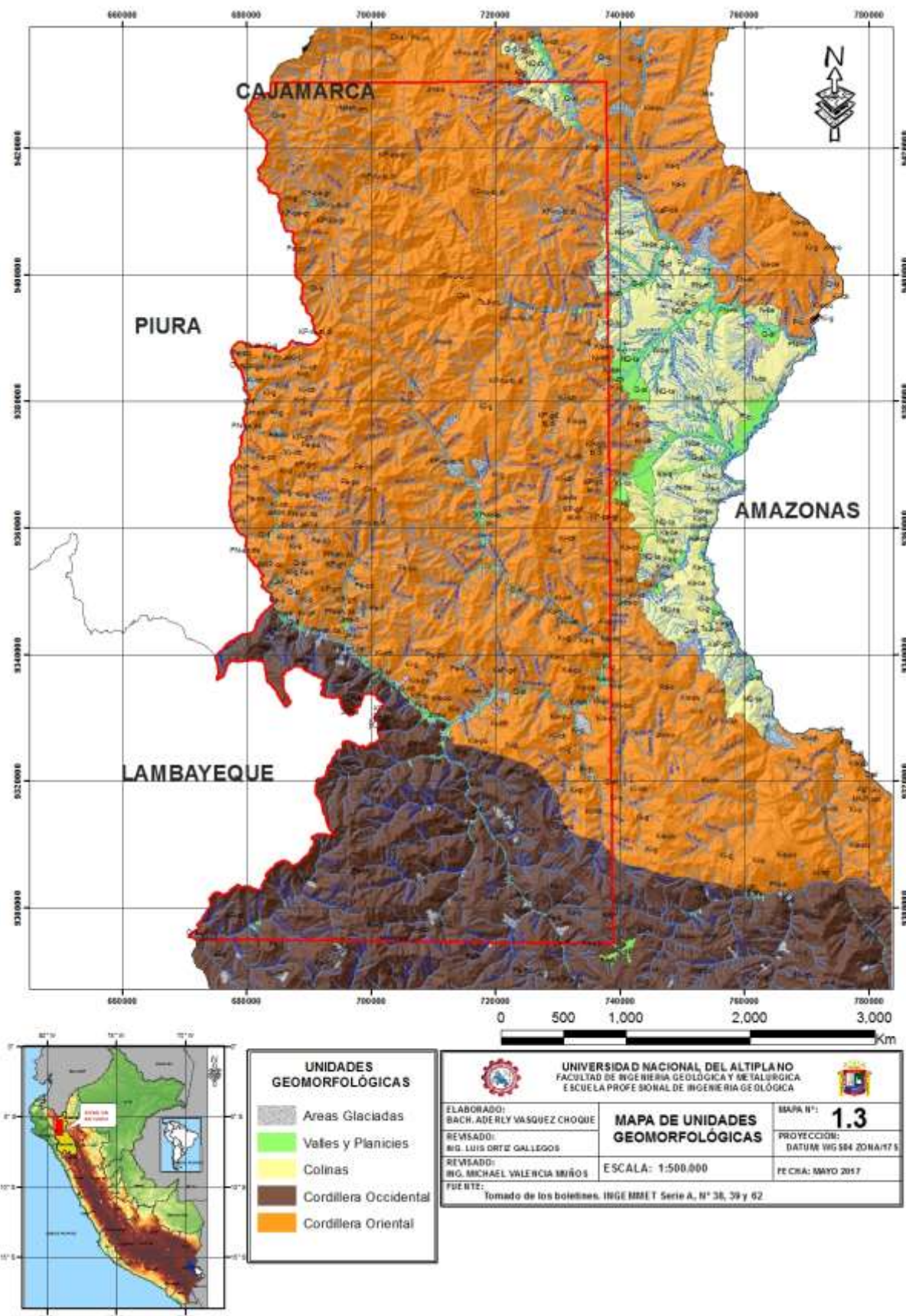


Foto N° 6 : Mapa de Unidades Geomorfológicas del segmento de estudio (Jaen- San Ignacio- Cajamarca).

### 3.4.5 GEOLOGIA REGIONAL

#### A. Estratigrafía.

En el área de estudio afloran rocas metamórficas, paleozoicas, sedimentarias e ígneas, el paleozoico está constituido esencialmente de esquistos que afloran al Oeste del río Huancabamba, en contacto fallado con los sedimentos mesozoicos, rocas sedimentarias triásicas, jurásicas y cretáceas ocupan la parte Oeste y Sur del área, el terciario inferior está representado por derrames volcánicos andesíticos y dacíticos, que descansan en discordancia sobre las estructuras preterciarias.

La roca ígnea aflora como apófisis de un batolito de edad probablemente cretáceo superior a terciario inferior, que aflora hacia el noreste del área. La composición de la roca intrusiva no es uniforme y varía desde una diorita pasando por tonalita a granodiorita, las rocas ígneas y las rocas volcánicas terciarias son las más ampliamente distribuidas y ocupan las dos terceras partes del área de estudio.

Geológicamente comprende una parte occidental de una cuenca sedimentaria Cretácea transicional: marina y continental recubierta en el sur por volcánicos de Cenozoico y con basamento Paleozoico metamorfizado, al norte intruidos por numerosos cuerpos intrusivos de diorita y tonalitas correspondientes a los afloramientos más Orientales del batolito de la costa.

La parte Oriental es enteramente de una cuenca sedimentaria Cretácea con sectores de cuenca sedimentaria Paleógeno, disectadas por grandes fallamientos andinos. Sobre el cañón del río Marañón tenemos afloramientos proterozoicos como basamento que reaparece hacia el extremo norte con un basamento Proterozoico metamórfico y Jurásico volcánico-sedimentario.

#### B. Neoproterozoico.

##### Complejo del Marañón.

Comprende el basamento del denominado complejo Marañón, constituida por rocas metamórficas con unidades litológicas de esquistos y gneis, esquistos micáceos, metasedimentitas, compuesto por pizarras, cuarcitas y filitas en el Cañón del Marañón (Sánchez, 1994).

Los esquistos del Complejo del Marañón constituyen la unidad basal en la región, sobre ellos yacen en clara discordancia angular las sedimentitas rojas del Grupo Mitú que se encuentran al SE del cuadrángulo de Jaén, en las inmediaciones de Lonya Grande (Sánchez A. 1995).

#### C. Mesozoico.

##### Grupo Pucara.

Constituido por calizas de color gris, pardo amarillento con tonalidades rojizas por meteorización, lo conforman estratos medios a delgados, de textura microcristalina, son a veces ondulados y de aspecto brechoide. Hay afloramientos que entre otras particularidades; tienen venillas de calcita recristalizada y también algunas concreciones de chert y material silíceo.

También se presentan brechas calcáreas con fracturas irregulares, en estratos gruesos, macizos, que tienden a formar escarpas, la brecha se compone de fragmentos correspondientes a calizas que muestran contornos angulosos y tamaño variado, englobados en una matriz de color gris violáceo de grano fino, de naturaleza calcárea



silícea. Denominó a las calizas de edad Triásico-Jurásico, como calizas Pucará (Mc Laughlin 1924). Posteriormente (Jenks W. 1951), propuso el termino regional del Grupo Pucara para las calizas que se encuentran que se encuentran entre el Grupo Mitú y las areniscas Goyllarisquizga.

### **Formación Oyotun.**

Descrito como una secuencia volcánica en el valle de Zaña, en los alrededores del pueblo de Oyotún, constituido por capas gruesas, de piroclastos, derrames andesíticos y dacíticos, con intercalaciones sedimentarias, tobas, grauvacas y areniscas. Wilson J. (1984).

Presenta también una secuencia volcánica sedimentaria de franjas alargadas de orientación NO-SE a N.S que continúan tanto al Norte tanto como al Sur del cuadrángulo de Jaén, su expresión morfológica es característica.



**Foto N° 7 :** Alteración hidrotermal del tipo argílica del Volcánico Oyotún.  
Vista al N de la Localidad Yucaspampa.

### **Grupo Goyllarisquizga.**

Fue descrito originalmente por (Mac Laughlin; 1924) en los Andes del Centro del Perú, como areniscas Goyllarisquizga-Jatunhuasi. El nombre de “Formación Goyllarisquizga”, fue propuesto por (Jenks; 1951), en tanto que (Wilson J. 1963) reúne alas rocas cretácicas que infrayacen a las calizas Albianas, como Grupo Goyllarisquizga.

Constituida por una secuencia de 650 m de grosor constituida por estratos macizos, de 20 a 80 cm de grosor de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerádicas con guijarros pequeños de cuarzo ocurrencias a modo de franjas de dirección N-S y NO-SE se observan en los cortes de los rios. Presentan una coloración gris clara a blanca ligeramente amarillenta que por meteorización toman color amarillento, rojizo debido al material ferruginoso que contiene.

Los distintos afloramientos reconocidos presentan en forma subordinada hacia el techo algunos horizontes de limolita, lodolita y arcillas pizarrosas abigarradas, de colores gris verdoso con contenido de plantas fósiles mal conservadas.

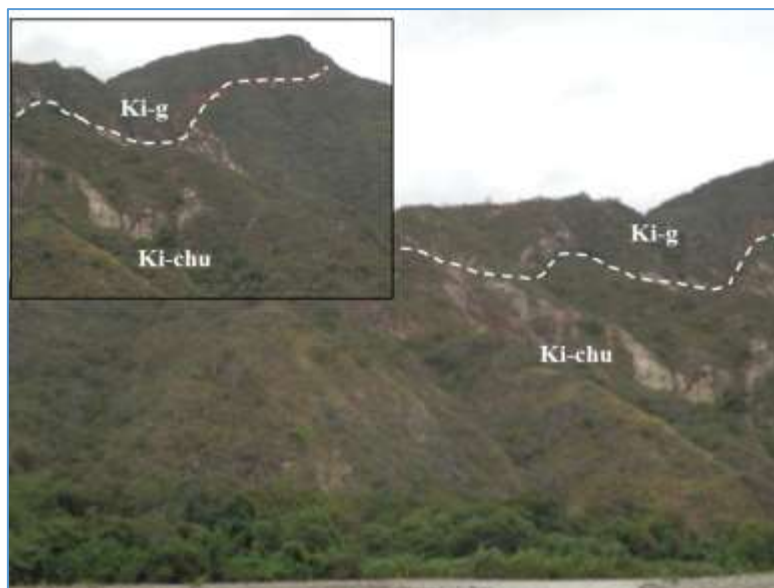


Foto N° 8 : Contacto entre la Formación Chulec y el Grupo Goyllarisquizga.<sup>12</sup>

En la parte superior se observa las areniscas ferruginosas de coloración rojiza y en la parte inferior calizas de color beige oscuro pertenecientes a la Formación Chúlec-Localidad las Pizarras.

### **Formación Inca.**

Descrita como una secuencia constituida por calizas areniscosas su grosor no excede los 55 m, ferruginosas con algunas lutitas fosilíferas. con una coloración marrón amarillenta en superficies meteorizadas de las calizas, en general consiste de limoarcillitas, limolitas gris a gris verdosa, intercaladas con calizas grises, bioclásticas gruesas que muestran coloraciones pardas amarillentas, algunas calizas son biomicriticas, otras son bioespaticas y fosilíferas, también se observan algunas areniscas calcáreas. En la Formación Inca existen abundantes restos fósiles de bivalvos ammonites y equinoideos, en calizas nodulares y limoracillitas grises (V. Benavides, 1956).

### **Formación Chulec.**

Esta unidad ha sido definida como formación por Benavides V. (1956), inicialmente Mc Laughlin D.H. (1924), la describió como miembro inferior de las Caliza Manchay- se la describe como una secuencia de calizas claras con intercalaciones de lutitas arenosas. Constituida por margas gris verdosas y calizas gris olivo a gris claras en capas medianas a delgadas entre 5 a 30 cm de grosor, en Corral Quemado es de 170 m y Rentema alcanza 100 m, que en conjunto meteorizan adoptando coloraciones grises a cremas. Las calizas se describen como micritas, biomicritas y calizas limoarcilliticas. Las margas y algunos limoarcillitas, en general, meteorizan a modo de lodolitas, mostrando apariencias

---

<sup>12</sup> Ki-g: Grupo Goyllarisquizga, Ki-chu: Formación Chulec.

pseudonodulosa a formas irregulares, y tienen característicamente colores grises verdosos.

Contiene un alto contenido de ammonite, bivalvos, gasterópodos, equinoideos, etc. Que abundan en los niveles calcáreos pelíticos de estratificación ondulada y en las margas grises.

### **Formacion Pariatambo.**

Definida como tal por (Benavides V. 1956), su localidad tipo se encuentra en Paritambo, en el distrito de la Oroya, y consiste de calizas margosas negras fuertemente bituminosas. En la sección de la quebrada. Corral Quemado se ha medido 8 m de caliza gris oscuro, fina con estratificación plana paralela y ligera laminación, se han identificado algunos ammonites y bivalvos, también se observan intercalaciones de limoarcillitas grises, algo laminadas. Estas calizas son biomicriticas y micriticas; concordante con esta unidad se encuentra las margas y calizas de la Formación Chúlec en la parte inferior y le sobreyacen calizas gris claras macizas que conforman al Grupo Pulluicana.

Su grosor nos permite el cartografiado a escala regional, por lo que se le ha registrado en conjunto con las formaciones Chúlec e Inca.

Los fósiles encontrados en esta unidad indican una edad Albiano superior. Se correlaciona con parte de la Formación Grisnejas y con la Formación Esperanza de la Faja Subandina, siendo equivalente a la Formación Muerto del Noreste del Perú.

Esta unidad se acumuló posiblemente en un mar correspondiente a una plataforma restringida de profundidad moderada y de aguas tranquilas con escasa circulación.



**Foto N° 9 :** Afloramiento de calizas Fm. Pariatambo (Ks-p).  
Estratos delgados característicos, planas y paralelas intercaladas con limoarcillitas.

### **Grupo Pulluicana.**

Fue denominada por (Tafur I. 1950), en el Valle de Cajamarca, en el paraje Pulluicana, (Benavides V. 1956) describe las formaciones de Yumagual y Mujarrún que conforman el Grupo Pulluicana, como una secuencia de calizas y margas gris claras detallando su contenido faunístico. Este grupo ha sido descrito y cartografiado en las áreas vecinas al cuadrángulo de Jaén por (Wilson J. 1984, Sánchez A. 1995, De la Cruz J. 1995, Reyes R. 1980), etc., donde constituye una unidad bien desarrollada y de gran extensión.



Que consiste en la base de calizas gris claras en estratos medios (20,50 cm de grosor) que por meteorización adquieren tonalidades cremas, gris crema a pardo gris. Se intercalan con lagunas margas y limoarcillitas gris a gris verdosas y cremas.

Existen niveles de calizas nodulares con abundantes fósiles. En general el Grupo Pulluicana es una unidad resistente a la erosión que forma escarpas pronunciadas resultante de los cortes abruptos en los valles. La estratificación es media a gruesa y presenta intercalaciones algo rítmicas de limoarcillitas y margas menos resistentes, que son más frecuentes en la parte inferior.

El contenido de paleofauna es abundante en los niveles nodulosos asociados con margas limoarcillitas, donde esencialmente se encuentran bivalvos y gasterópodos.



**Foto N° 10 :** Afloramiento Grupo Pulluicana<sup>13</sup>, Río Chamaya.  
Netamente estratificado de calizas cremas intercaladas con lutas grises.

### **Grupo Quilquiñan.**

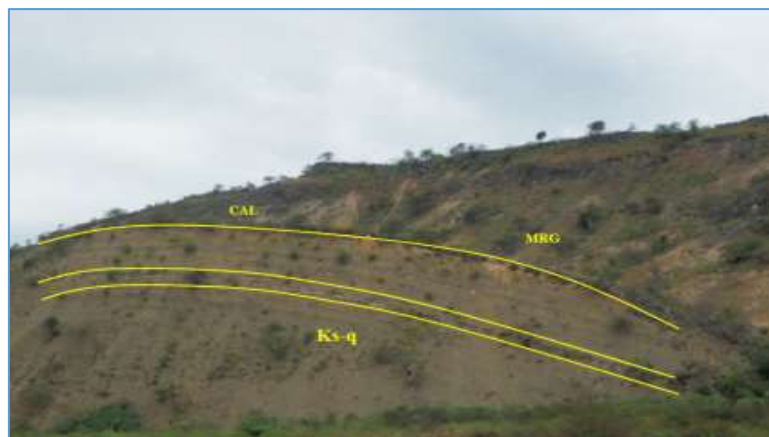
Ha sido descrito por (Tafur I. 1950) en el valle de Cajamarca y (Benavides V. 1956), quien describió las formaciones Romirón y Coñor como integrantes de este grupo.

La secuencia es mayormente pelítica-calcárea, consiste de limoarcillitas gris azulinas a verdes, en estratos medios a gruesos que se intercalan con algunas capas de caliza gris clara que debido a la meteorización son pardo amarillentas.

Las calizas constituyen estratos resistentes que en algunos casos presentan abundantes restos de bivalvos, gasterópodos y equinoideos, las que se pueden observar en los cortes de carretera al Oeste de Mesones Muro, formando pendientes constantes definidas por las superficies de estratificación, en la parte superior consiste de limolitas y margas grises con niveles delgados de calizas nodulosas.

---

<sup>13</sup> Ks-p: Gupo Pulluicana.



**Foto N° 11 :** Afloramiento Gpo. Quilquiñán 14 de margas intercaladas. con delgados estratos de calizas, dichos estratos están dispuestos de manera subhorizontal- localidad Palo Blanco.

### **Formación Cajamarca.**

La Formación Cajamarca está constituida de 50 a 100 m de calizas finas, claras, en estratos gruesos a medios con estratificación paralela de superficie onduladas e irregulares, también se observan estratos delgados nodulares de calizas gris claras a marrón claras, micritas y biomicriticas, con algunas margas delgadas. El conjunto de estratos de caliza es una unidad resistente que forma una escarpa vertical diferenciable de las unidades infrayacentes y suprayacentes, que son más fácilmente erosionables

### **Formación Celendin.**

Es una secuencia pelítica calcárea que fue definida en la localidad de Celendín, (Benavides V. op. cit.) y que constituye la secuencia que marca el último evento de sedimentación marina a caecido en el Cretáceo superior.

Abundan las margas y limoarcillitas grises que meteorizan a colores cremas amarillentas, también existen algunos niveles de calizas nodulosas en estratos delgados. En esta unidad se observa abundantes restos de fósiles como los ammonites, bivalvos, gasterópodos, equinodermos, briozoarios, en diversos niveles dentro de la secuencia, con un grosor estimado de 200 m.

### **Formación Chota.**

Esta secuencia está formada de 4 m de areniscas rojas claras algo calcáreas que se intercalan con limoarcillitas calcáreas que contienen gasterópodos, bivalvos, ammonites y fragmentos de huesos (Sánchez A. 1995).

Con un grosor máximo de 203 m que corresponden a dos miembros uno inferior de 100 m y el superior de 103 m. sin embargo los grosores varían notablemente hacia el Oeste, tal como se observa en la zona de estudio.

---

14 CAL: Caliza, MRG: Margas, Ks-q: Gpo. Quilquiñán.



**Foto N° 12 :** Afloramiento Formación Chota (Ksp-ch).

Estratos de AR rojas intercaladas con lodolitas, N320°, 42°SW, Localidad, La Toma, Qda. Caña Brava

#### **D. Cenozoico.**

##### **Formación Cajaruro.**

Litológicamente tiene aprox. 180 m de limoarcillitas gris claras algo amarillento, en la base con niveles calcáreos de color blanco gris y algunas areniscas claras, se intercalan algunos niveles de yeso rosáceo.

La estratificación es delgada y algunos estratos contienen carofitas. También se nota un nivel tobáceo en la parte inferior, de color blanco a marrón. La característica distintiva de la formación es su coloración clara, con tonalidad blanquecina en general, diferenciable de las unidades infrayacentes y suprayacentes que son mayormente rojizas.

**Formación Llama.** Generalmente comienza con un conglomerado basal rojizo intercalado con capas de toba andesítica, volcánicos ácidos, riódacitas de color morado o viláceo. Los fragmentos del conglomerado son guijarros bien redondeados de cuarcita con proporciones menores de caliza y roca volcánica. Los clastos tienen un diámetro promedio de 10 cm pero en algunas localidades alcanzan 50 cm. Como por ejemplo en el área entre catache y Llama (c. de Chongoyape). El conglomerado generalmente forma capas gruesas y compactas que dan escarpas marcadas, tal como se puede apreciar en Santa Catalina (c. de Chepen).

La formación suprayace a los conglomerados de la Formación Chota que se considera correspondiente al Cretáceo superior o posiblemente Cenozoico por lo tanto debe ser parte del terciario inferior. Se corelaciona con la parte inferior de la formación Calipuy, COSSIO, A. (1964), ahora elevado al rango de grupo.

##### **Grupo Milagro.**

Fue denominada así por D. Dávila. También es conocida por algunos autores (Naeser et al., op.cit) como Formación Sambimera (miembro superior).

Litológicamente está constituida por una gruesa secuencia lacustrina a fluvial, primero grano creciente y luego grano decreciente de limoarcillitas rojas y areniscas, se distingue

por presentar un característico color gris blanquecino a rojizo abigarrado, areniscas color gris a rojizas, poco consolidadas, de grano grueso a medio, en estratos delgados (grosor entre 1-1.5 cm) principalmente, se le estima un grosor superior a los 1,000 m. (Naeser et al., 1991).



**Foto N° 13 :** Quebrada Papayal, afloramiento de areniscas de color amarillento<sup>15</sup>. En la margen derecha aguas abajo correspondiente al Grupo Milagro (PN-mi), en el depósitos cuaternarios fluviales (Qh-fl) en todo el cause de la quebrada, en la localidad de Inguro. Vista al NE.

### **Formación Bellavista.**

Caracterizada litológicamente por un predominio de areniscas, limolitas y limoarcillitas, color pardo amarillentas y pardo grisáceas, en capas delgadas a gruesas, con intercalaciones ocasionales de areniscas guijarrosas y conglomerados subredondeados.

En el cerro San Antonio se observa un grueso conglomerado color gris amarillento en la parte inferior sobre el conglomerado en el cerro Pistolero se observa una secuencia de areniscas, limoarcillitas y conglomerados color marrón amarillento a blanco amarillento que constituyen el miembro superior.

Esta unidad empieza con conglomerados gruesos de cono aluvial, intercalados con areniscas y limoarcillitas abigarradas, siguiendo areniscas y limoarcillitas, fluviales y lacustres, respectivamente, se le estima un grosor de 800 m. presentando discordancias progresivas a gran escala (Mourier, op. cit).

---

<sup>15</sup> Pm-mi: Grupo Milagro.





**Foto N° 14 :** Afloramiento Formación Bellavista (N-be)<sup>16</sup>.  
De conglomerados constituido de clastos de GD, AN, AR, con una coloración beige en la localidad de La Guayaba Vista al NW.

### Formación Tamborapa.

Denominado así a una secuencia expuesta en los alrededores del pueblo de Tamborapa en el cuadrángulo San Ignacio (Salazar, 1967). Se trata de conglomerados poco consolidados, redondeados a subredondeados, heterométricos y de composición heterogénea con clastos de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias; están aglutinadas por unos matrices limos arenosos (Finos y gruesos). Se reportan ocasionalmente, lentes delgadas de arena gravosa y limoarenosa. (Naeser, op. cit), también presenta areniscas gruesas y conglomerádicas fluviales, intercaladas con limoarcillitas abigarradas con huellas de hojas. La estratificación no es conspicua, su grosor estimado es de 200 m.



**Foto N° 15 :** Afloramiento Formación Tamborapa (NQ-ta)<sup>17</sup>.  
Conglomerado de clastos redondeados de andesitas, areniscas e intrusivos, Componentes característicos de este litotipo-Localidad Palo Blanco.

16 N-be: Formación Bellavista.

17 AND: Andesita. ARS: Arenisca. INT: Intrusivo. NQ-ta: Formación Tamborapa.

**Depositos Cuaternarios.**

La sedimentación durante el cuaternario está representada mayormente por depósitos Fluvioaluviales y coluvio-aluviales, están acumulados a lo largo como terrazas donde la actividad agrícola se concentra, debido a la presencia de limos y arcillas, depositados durante la época de crecidas alternadas con épocas de estiaje. Los depósitos están acumulados con eventos aluviales producto de la erosión de las secuencias cretáceas de las montañas y los depósitos Neógenos del NE de la zona de estudio.

Están de limos y limoarcillas en posición horizontal, con niveles que se pueden seguir por varios kilómetros, estos representan periodos climáticos de variada intensidad acumulando horizontes con varios metros de grosor de sedimentos finos cuya secuencia sobrepasa los 40 m de grosor, estos presentan estratificación paralela y ondulada producto de flujos fuertes que acumularon conglomerados, gravas y arenas en forma de canales de corte y relleno erosionados en la parte superior de las secuencias finas, Igualmente.

Los depósitos coluvio-aluviales están acumulados a lo largo de las quebradas que disectan las montañas SE de la zona de estudio de disposición perpendicular.

En los lechos de los ríos y quebradas abundan las gravas redondeadas de diverso tamaño con matriz arenosa, estos se explotan como material de construcción.



ERA-TEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos fluviales y coluviales			Gravas, arenas y limos inconsolidados, conglomerados con matriz limo-arenosa. Estratificación poco desarrollada, mala clasificación.		
		Pleistoceno	Formación Tamboraps	200				
	NEÓGENO	Plioceno					Predominio de areniscas, limolitas y limoarcillitas pardo amarillentas y pardo grisáceas, con intercalaciones de areniscas guijarrosas y conglomerados subredondeados	
			Formación Bellavista	800		Su base comienza con conglomerados gruesos intercalados con areniscas y limo arcillas.		
		Mioceno					Constituido por una secuencia, grano decreciente y grano creciente de limoarcillitas rojas y areniscas. Areniscas presentan numerosos acuñamientos y estratificación sesgada. El tamaño de grano de las areniscas es fino, medio y grueso con niveles de conglomerados y tobas al tope y base. Intrusivos Pumahuaca y La Granja.	
			Grupo El Milagro	1000			Limoarcillitas, areniscas y calizas gris claras a blancas. Tobas volcánicas con intercalaciones de areniscas al tope, limoarcillitas hacia la base. Limoarcillitas y lodolitas rojas intercaladas con areniscas con restos de peces, carofitas y huesos de dinosaurios hacia su tope areniscas conglomerádicas. Intrusivos Chillasque y Colmenas.	
	PALEÓGENO	Oligoceno					Intercalación de margas y limoarcillitas con calizas en estratos delgados. Calizas en estratos gruesos, grano fino, con algunas intercalaciones de margas.	
		Eoceno	Formación Cajaruro	180			Margas con intercalaciones de calizas en estratos delgados. Intercalaciones de limoarcillitas. Los nódulos son generalmente margas. Hacia la base presenta niveles coquiníferos.	
			Formación Llama	180			Limoarcillitas gris verdosas.	
		Paleoceno	Formación Chota	200			Calizas en estratos gruesos, de grano fino a grueso con delgados e intercalaciones de margas. Estratificación sesgada. Margas con intercalaciones de calizas de grano fino, fosilíferas. Calizas grises algo ferruginosas, areniscas cuarzosas con limoarcillitas grises.	
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Formación Celendín	200			Intrusivos Pallashaco. Areniscas gris claras y blancas cuarzosas grano medio a grueso. Niveles conglomerádicos intercalaciones de lutitas carbonosas.
				Formación Cajamarca	100			
				Grupo Quilquiñan	710			
				Grupo Pullucana	200			
Inferior			Formación Chulec	170				Derrames andesíticos color gris verdoso, afaníticos y porfíricos. Niveles piroclásticos con algunas intercalaciones sedimentarias. Plutón Rumpite.
			Formación Inca	50				
JURÁSICO			Medio	Formación Oyotun	1000			Calizas micríticas, con estratos medios a gruesos con nódulos de chert y fósiles.
			Inferior					
TRIÁSICO			Grupo Pucará	400				
NEO PROTEROZOICO				Complejo del Marañón			Esquistos, micaesquistos gris verdoso con algunas vetas de cuarzo.	

Foto N° 16 : Columna estratigráfica generalizada de la zona de estudio (Modificado Boletines.INGEMMET Serie A. N° 38,39 y 62)





### 3.4.6 ROCAS INTRUSIVAS

#### **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, estos 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 70 Ma. 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 de 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).

Posteriormente (Atherton, 1990) hace una crítica de la evolución del Batolito de la Costa Peruana, planteando 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), extinción, subsidencia y fracturamiento.

En tanto (Boily, Brooks, James 1984 y Rmeuf, 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.

En la zona de estudio las rocas representan aproximadamente el 65% de área total, emplazados a manera de batolitos y stocks en edades aproximadamente que va desde el Mesozoico hasta el Paleógeno superior. La distribución de estos cuerpos ígneos según su tiempo, espacio de emplazamiento y composición se describen a continuación. De manera general, en el área, las rocas intrusivas están representadas por dos grupos principales: tonalitas-granodioritas, pertenecientes al batolito de la costa y stocks de composición granítica. Así también cuerpos pequeños de monzonita, pórfidos cuarcíferos, granitos porfiriticos y andesitas.

Los plutones Rumipite y Picorona reconocidos corresponden al sector septentrional del lineamiento del Batolítico antes descrito y se han desarrollado en el lineamiento plutónico localizado al Este, siendo responsables de la morfología de la cadena montañosa de Rumipite y Picorona. Las edades de su emplazamiento son aun imprecisas por que no se cuenta con dataciones geocronométricas, en tanto que su relación con los plutones de la margen occidental no se aprecia, debido a su posición estructural y la alteración de sus componentes minerales por efecto del clima subtropical de la región.

Los plutones Rumipite y Picorona ascendieron siguiendo lineamientos estructurales del noroeste del Perú. Las variaciones litológicas de estos cuerpos plutónicos van de diorita,

tonalita, granodiorita a granito; con modificaciones en su textura y componentes minerales incluyendo la alteración de los mismos.

El magmatismo se manifiesta por diversas edades desde el Proterozoico hasta el Cenozoico, distribuidas en la Cordillera de La Costa (Macizo de Illescas, las Intrusiones de Paíta, Macizo de los Amotapes) los más antiguos, hasta el Batolito de la Costa a lo largo de Cordillera Occidental junto a las Intrusiones de Lancones las más recientes.

Las rocas plutónicas de esta región, corresponden al área septentrional de un lineamiento batolítico de cerca de 2.400 km de longitud (PITCHER, 1978), conocido con el nombre de Batolito de la Costa, el mismo que está compuesto por cinco grandes segmentos denominados: Segmento Piura, Segmento Trujillo, Segmento Lima, Segmento Arequipa y Segmento Toquepala.

Los segmentos mejor conocidos son los de Lima y Arequipa, (COBBING y TAYLOR, 1977b); en el primero se ha establecido un plutonismo que se inició hace cerca de 100 Ma. y que duro 70 Ma, la razón de la variación composicional del Batolito de la Costa considerada por, (SILLITOE R.G. 1974), como el resultado de una segmentación tectónica de a corteza continental. Otros autores postulan que esta diferenciación se podría deber a cambios en el buzamiento de la zona de Benioff, principalmente durante el Cretáceo, (PITCHER, 1978).

Luego siguen plutones aún mayores, siendo los siguientes: Tonalita Altamisa, Tonalita-diorita Pamparumbe, Tonalita-diorita Rumipite, Granodiorita-tonalita Suyo y Granito Paltashaco. Una buena parte de plutones no han sido clasificados específicamente y se les ha cartografiado como Granitoides indiferenciados. Finalmente existen pequeños cuerpos hipabisales, tales como apófisis de piroxenitas y stoks de andesita y dacita.

#### **Evolución Tectónica (Mesozoico-Cenozoico).**

Esta fase del Tectonismo corresponde al Ciclo Andino, así como el Batólito de la Costa se emplaza (fines del Cretácico inferior) conformando un gran cuerpo intrusivo. La secuencia composicional del Batolito de oscila de una 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 de 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 considera además precursoras al emplazamiento del Batolito.

**Tabla N° 12 : Ciclos Orogenico, (Modificado Rivera. 2014)**

EDAD	ERA		CICLO	FASE
1.8 Ma	C E N O Z O	CUATERNARIO	ANDINO	Fase Quechua 3: Levantamiento, fallamiento y vulcanismo
		NEOGENO		Fase Quechua 2: Lev Falla, vulcanismo
		PALEOGENO		Fase Quechua 1: Fallamiento, levantamiento y erosión (Puna), y vulcanismo
				Fase Inca: Plegamiento, fallamiento, plutonismo y vulcanismo (Batolito de la Costa)
64 130	M E S O Z O	CRETACICO	HERCINICO	Fase Peruana: Plegamientos y fallamientos
		JURASICO		Fase Inter Albiana: Deformación
		TRIASICO		Movimiento Nevadaiano (Epirogenia); Levantamiento de bloques
190	PALEOZOICO		Fase Finihercínica: Deformación localizada	
		Fase Tardihercínica: Movimiento epigénico con plegamiento y levantamiento		
		Fase Eohercínica: Plegamiento, fallamiento y metamorfismo		
265		CALEDONICO	Fase Compresiva: Plutonismo en la Costa	
570	PRECÁMBRICO		Fase 1 Fase 2 Fase 3 Fase 4	

La principal estructura que domina el nororiente peruano es la Deflexión de Huancabamba, la cual es el resultado de una deformación causada por dos juegos de esfuerzos: uno Este-Oeste resultante de la interacción entre las placas Sudamericana y Nazca, otro noroeste-sureste debido a la acción de la placa de Los Cocos.

Estas placas se alinean a la Dorsal de Carnegie por el Oeste y hacia el Este con la Fosa Amazónica, que se prolonga hacia la Fosa de Romanche y que corresponde a una falla transformante de juego dextral sobre la Dorsal Mesoatlántica (Reyes & Caldas, 1987). Este sector de los Andes forma parte de la transición entre los Andes Centrales hacia los Andes del Norte Sudamérica. Los primeros están específicamente relacionados a una subducción de litósfera oceánica, mientras los del norte correspondientes al Ecuador y Colombia, se consideran un orógeno relacionado a la obducción y acreción de terrenos oceánicos (Mourier, 1988).

Por tanto, la deflexión de Huancabamba delimita diferentes regímenes geotectónicos entre el Cretáceo y parte del Terciario, expresando la transición entre los Andes centrales de orógeno marginal, y estructuras con rumbo NO, y los Andes del norte con un estilo de deformación transpresional (Braun et al, 2000).

El borde oriental del Mesozoico de Ecuador y Perú norte fue definido por la forma de los escudos de la Guyana y el Brasil cuando su borde occidental se encontraba bajo la influencia de la subducción Pacífica. Entre el Triásico Tardío y el Jurásico medio, una cuenca se extendía sobre el borde occidental de Sudamérica desde el 3° N y el 13° S.

Esta cuenca fue progresivamente invadida por el mar del Noriano y alcanzó su máximo en el Sinemuriano. De esta forma una plataforma carbonatada se extiende en todas partes, mezclada con facies volcánicas en la parte occidental del oriente ecuatoriano. Por su parte, intercalaciones piroclásticas están presentes en los carbonatos a lo largo de la costa peruana del norte. Este arco volcánico continental Liásico del sur puede haberse extendido en el centro y norte del Perú y hacia el Ecuador.

Ensamblajes tectónicos y magmáticos similares probablemente prevalecieron durante el Bajociano, cuando el mar se retiró desde el Ecuador, así como desde el norte y centro del Perú (Megard, 1988).

Otro patrón paleotectónico aparece en el Jurásico tardío, en especial por la trasgresión Titoniana. En el norte y centro peruano aparecen dos cuencas: una occidental y otra oriental divididas por el bloque del Marañón. Cerca de los 8° S, la cuenca peruana Occidental finalizaba a lo largo de la zona de fractura Cajamarca E-W.

Una plataforma desarrollada al norte de esta latitud comunicaba el noreste con el Oriente Peruano. En el Jurásico tardío, el arco volcánico de tendencia N-S, continuaba hacia al norte a lo largo del límite este de la cordillera oriental del Ecuador.

En el Cretáceo temprano, la actividad volcánica migró repentinamente hacia el oeste. Pero debido al marcado decrecimiento, originando una incompleta paraconcordancia y discordancia de la secuencia Cretácea sobre el bloque del Marañón. Además, en el Jurásico inferior, las secuencias más antiguas sufren un fallamiento en bloques durante la fase Nevadiana.

El Jurásico tardío y medio junto al Cretáceo temprano, se encuentran representados por una formación de capas rojas continentales que abarcaron la cuenca peruana oriental, el oriente ecuatoriano y el sur colombiano. En Ecuador el miembro superior de capas rojas contiene tobas y lavas que parecen ser la continuación del arco Jurásico Nor-peruano (Megard, 1988).

Finalmente, seguida de una sedimentación continental (Cuenca Bagua) se produjo una fase compresiva (Quechua) que reactivó fallas preexistentes y un levantamiento considerable de la zona interandina y de la cordillera, generando procesos erosivos asociados a la acumulación de materiales aluviales, coluviales, fluviales y glaciofluviales (Sánchez, 1995).

Los trabajos paleomagnéticos y gravimétricos son consistentes con el modelo de acreción, y sugieren que la evolución mesozoica del Norte peruano caracterizado por terrenos de acreción y más relacionadas con tectónicas de los Andes del Norte; pero a partir del terciario medio y cuaternario, las características son similares a los de los Andes del centro.

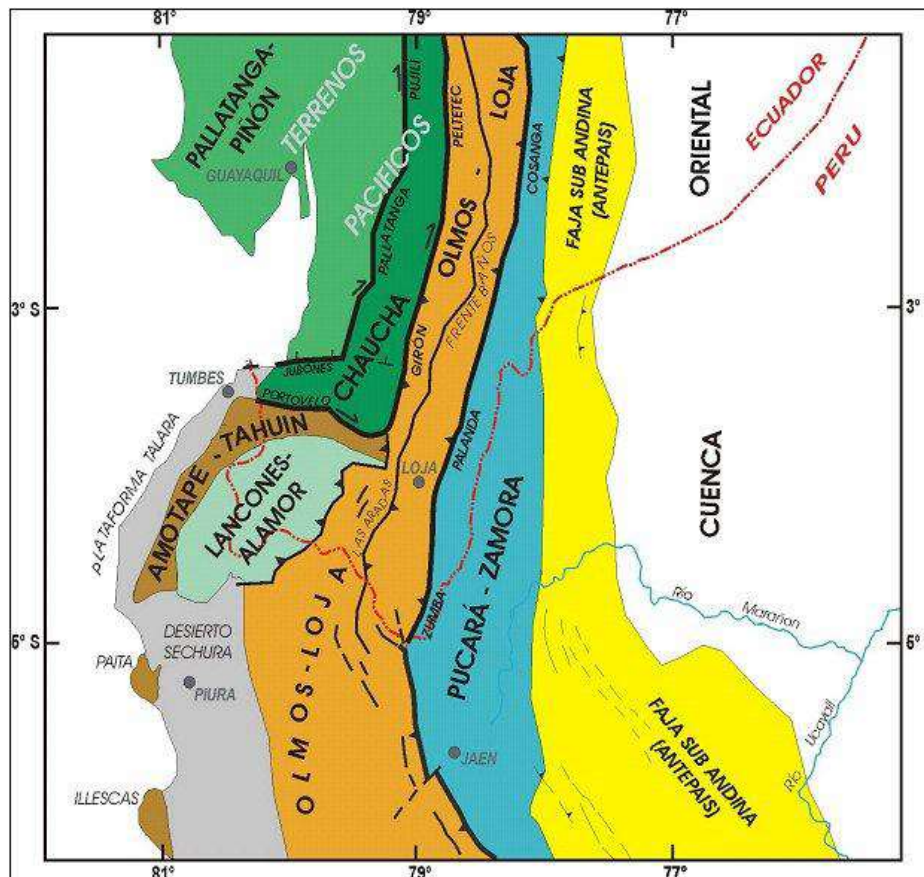


El propósito de esta acreción sería la reorganización de la geometría de la subducción a lo largo del margen andino, conduciendo al bloqueo definitivo de la subducción Jurásica y post-Jurásica (Mourier, 1988).

### 3.4.7 DOMINIOS TECTONICOS

El área de estudio, para la descripción litoestratigráfica, se dividió en **dominios litotectónicos**, cada uno de ellos abarcan unidades litotectónicas y formacionales que presentan características litológicas, estructurales y genéticas afines.

Los Dominios interpretados como terrenos, macizos, cuencas y arcos; y definidos en el área de estudio son: Terreno Loja-Olmos, Macizos Amotape-Tahuin y Oriental; Cuencas Lancones-Alamor y Oriental, y Complejo Pucara-Zamora (Figura N° 26).



**Foto N° 18** : Esquema de los dominios litotectónicos del sur del Ecuador.

Incluyendo las principales fallas regionales, la mayoría de estas representan límites entre sí. (Fuente Proyecto binacional Peu-Ecuador. L.Pilatásig, 2005).

**Terreno Loja-Olmos**, comprende las rocas y estructuras emplazadas dentro de la Cordillera Central o Real de Ecuador y Occidental de Perú. En el territorio ecuatoriano se incluyen los Terrenos Alao, Loja y Salado definidos por (Litherland y otros 1994).

**Macizo Amotape-Tahuin**, comprende la faja metamórfica de las cordilleras de Amotape y Tahuin.

**Cuenca Oriental - Macizo Oriental**, dentro de este dominio se encuentra las unidades o eventos geológicos sucedidos en la Cuenca sedimentaria Post-Jurásica.

Se incluyen las rocas metamórficas de alto grado de edad Paleozoica, así como las rocas del Jurásico que constituyen un basamento y que afloran en Cordillera Oriental del Perú y su prolongación expresada en el levantamiento Cutucú en el Ecuador.

**Cuenca Lancones - Alamor.** Comprende las secuencias volcánicas, volcano-sedimentarias y sedimentarias localizadas entre el Terreno Loja-Olmos y el Macizo Amotape-Tahuín. El basamento de esta cuenca en sus bordes O y N son las rocas incluidas en el Macizo Amotape-Tahuin.

**Dominio Pucará - Zamora,** comprende las rocas volcánicas sedimentarias relacionadas al rift Pucara expuesto extensamente en el Perú y las rocas intrusivas y volcánicas del arco magmático Zamora, expuesto extensamente en el Ecuador, así como las estructuras localizadas entre el terreno Loja-Olmos y la Cuenca Oriental-Macizo Oriental.

**Terreno Chaucha** (Litherland y otros, 1994), comprende las rocas y estructuras existentes entre los Terrenos Oceánicos y el Macizo Amotape-Tahuin, así como las rocas emplazadas entre el Terreno Loja-Olmos y los terrenos oceánicos. En esta zona se incluyen las rocas Terreno Birón (Feininger, 1987).

**Terreno Pallatanga-Piñón,** definidos como fragmentos ofiolíticos desmenbrados y acresionados al continente, comprende un esamble de rocas de origen ocenico, sobre las cuales se desarrollaron el arco de islas Macuchi, la cuenca de tras arco Apagua y las rocas sedimentarias del sector costanero ecuatorino depositadas en un ambiente de plataforma. Los límites de los terrenos, macizos y cuencas enunciadas en los párrafos anteriores, en la mayoría de los casos constituyen en estructuras tectónicas regionales, tales como las fallas Peltetec-Romeral, Pallatanga-Pujili-Caucapatía, Naranja-Portovelo, Polanda-Cosanga-Cosanga-Palestina, Jubones, Las Aradas.

#### **Dominio de Loja-Olmos.**

El dominio de Loja-Olmos (Tabla N° 13) constituido en su núcleo mayormente por rocas metamórficas.

El grado de metamorfismo varía desde la facie de esquistos verdes (bajo grado) hasta la facie e gneis (alto grado).

Localmente, las secuencias Pre-Cretácicas están cubiertas por depósitos de origen volcánico.

**Tabla N° 13 :** Unidades litológicas del terreno Loja-Olmos  
Fuente. (Proyecto binacional Peu-Ecuador. L.Pilatasig, 2005).

Tabla No. 6. Unidades Litológicas del Terreno Loja-Olmos						
Grupo/Unidad/Formación		Litologías Típicas	Edad Radiométrica	Edad Paleontológica	Edad Relativa	Ambiente
Ecuador	Perú					
Tarqui					Mioceno Tardío (Dunkley y Gaibor, 1997)	Arco Volcánico Continental
Volcánicos Indiferenciados					Paleogeno-Neogeno	Arco Volcánico Continental
Nabón		Conglomerados areniscas, lutitas	14.1 ± 1.6- 10.6 ± 0.8 Ma. Fission Track (Hungerbühler, 2000)	Neogeno (Bristow y Hoffstetter, 1977)		Cuenca Continental
Jubones		Tobas soldadas	23.2 ± 0.8 Ma (Fisión Track) y 22.76 ± 0.97 (K/Ar) (Pratt y otros, 1997)		Mioceno	Arco volcánico continental
Saraguro/Loma Blanca		Tobas dacítico-riolíticas, lavas andesíticas y rocas volcánico-sedimentarias	* 35.9 ± 0.9 K/Ar (Eguez y otros, en Dunkley y Gaibor, 1997) - 22.76 ± 0.97 Ma, K/Ar (bt) (Pratt y otros, 1997) * 40.6 ± 5.4- 22.5 ± 0.9 Ma. Fission Track (Hungerbühler, 2000)		Eoceno-Oligoceno	Arco Volcánico Continental
Sacapalca			55- 44 Ma (Noble en Jaillard y otros, 1996)		Paleoceno-Eoceno Inferior	
Alo-Paute*		Esquistos verdes			Jurásico?	Arco de islas
El Pán*		Esquistos grafiticos			Jurásico?	Cuenca de tras arco
Upano*		Esquistos verdes			Jurásico?	Arco Volcánico Continental
Sabanilla-Tres Lagunas		Ortogneis y paragneis	200 ± 12 Ma (Rb/Sr) Granito Tres Lagunas 224 ± 37 Ma (Rb/Sr) Unidad Sabanilla 227.3 ± 2.2 Ma (U/Pb) Granito Tres Lagunas (Litherland, y otros, 1994)		Pérmico-Triásico	Continental-Anatexia
Chiguinda*		Esquistos grafiticos, cuarcitas, metasamitas			Devónico?	Cuenca Intracratónica
Agoyán*		Esquistos micáceos			Paleozoico	
INTRUSIVOS						
Batolito Portachuela		Granodiorita-diorita	* 12 ± 1 - 24 ± 5 Ma (K/Ar) (bt-hnb) (Litherland, y otros, 1994) (7 edades) * 17.4 ± 0.2 y 17.8 ± 0.5 Ma. 40Ar/39Ar (bt y hnb) (Ullrich, PMA.GCA 2004)		Mioceno	Arco Continental
Intrusivo El Tingo		Granodiorita	50 Ma (Misión Británica, 1972-1980)		Eoceno	Arco Continental
Intrusivo San Lucas		Granodiorita	51 ± 2- 66 ± 4 Ma K/Ar (bt y hnb) (Litherland y otros, 1994)		Paleoceno	Arco Continental

\* La posición en tabla no implica posición cronoestratigráfica dentro de la era o período

### El Batolito de la Costa. –

El Batolito de la Costa, intruyó la faja plegada de Cajamarca en el Cretáceo superior entre los 100 a 32 Ma. Evidencia características geoquímicas particulares: baja tasa inicial 87Sr/86Sr, y una sola firma geoquímica con plutones emplazados en la epizona y enfriados rápidamente con emplazamiento, enrarecimiento y subsidencia. El Batolito no intruyó en un simple régimen Andino extensional, sino como lo demuestra., (Bussel 1983), con una traspresión de rumbo dextral ocurrido en el Paleoceno temprano. Las relaciones entre el batolito y el volcanismo coetáneo son inciertas, pero las edades radiométricas demuestran una lenta migración al Este desde el Albiano hasta el Oligoceno temprano, con actividades volcánicas que tuvieron sus mayores expresiones entre los 40 a 35 Ma y alrededor de 22 a 10 Ma.

El comienzo de la intrusión se relaciona con un periodo mundial de aperturas, tal como en el sud-Atlántico. Los mayores volúmenes se emplazan entre 86 a 70 Ma, en un periodo relativamente bajo de aperturas en el Pacífico sur. Esta actividad, comparada con los vectores de convergencia, muestran una correlación entre 35.5 a 26 Ma, periodo de baja tasa de convergencia y baja actividad volcánica.

Existen intrusivos relacionados con este batolito:

**a. Intrusivo la Granja (Granitoides Indiferenciado).**

Una buena parte de los plutones no han sido diferenciados cartográficamente de acuerdo a las variaciones litológicas, debido mayormente a la poca accesibilidad de los terrenos donde se encuentran expuestos.

En esta categoría se han cartografiado las rocas plutónicas que, en los cuadrángulos de Olmos y Pomahuaca, han participado en la cratonización y edificación de la Cordillera Occidental y la Cordillera de Sallique. Esta misma consideración se ha tenido para los intrusivos del sur de la ciudad de Ayabaca (curso superior del río Quiróz) y del noreste de esta (Sacsabamba), los que se prolongan hacia el río Calvas (Limite Perú-Ecuador), pasando al país de Ecuador.

De acuerdo a la composición mineralógica de los intrusivos, estos varían entre tonalita y granodiorita, siendo en muchos casos rocas gris leucócratas, de grano medio a fino, generalmente alotriomorfas; los plutones del cuadrángulo de Pomahuaca, tienen similar composición, pero son generalmente profiríticos debido a los fenos de feldespatos, (a veces zonados y de bordes corroídos).

**b. Intrusivo Chillasque (Altamisa).**

La denominación se ha tomado de la localidad, a unos 8 km al este de Chalaco (c. de Morropón). Dada su textura peculiar, se le ha cartografiado fácilmente en las fotos aéreas, habiéndosele seguido, por el norte, hasta las cercanías de Huaracas (c. de Ayabaca); de igual forma, por foto-interpretación, se le ha reconocido en la parte nororiental de Sapillica, (cerros Purpur y Pilco).

Litológicamente, de una tonalita gris clara, de grano medio, su principal característica es el contenido de grandes placas de biotita negra. Probablemente la roca se emplazó por intrusión forzada, ya que marginalmente presenta una marcada foliación que le da un aspecto de gneis; en las partes centrales, la roca tiene, más bien, características de una roca plutónica, manteniendo su misma composición mineralógica.

Los minerales esenciales son: plagioclasa zonada y maclada de composición oligoclasica An<sub>26</sub>, andesina An<sub>46</sub> (granito), el cuarzo presenta extinción ondulante y tiene a tendencia de recrystalizar hacia los bordes (granulación); la biotita se encuentra levemente flexionada. Sin embargo, donde la roca tiene una estructura gneisoide, la foliación está marcada por la biotita, encontrándose los clivajes deformados y con extinción ondulante; los minerales accesorios son: opacos y apatita, mientras que los productos de alteración son: trazas de sericita, clorita, limonita y esfena.

**c. Intrusivo Las Colmenas. -**

Las intrusiones granodioríticas, tonalitas y micrograníticas son cuerpos plutónicos menores, este de Cancas, quebrada San Felipe, cerros Coladare y Colletan, donde cortan a rocas Jurásicas, Cretáceas y Terciarias. Se presentan como cuerpos aislados y



distribuidos desordenadamente, pero en general corresponde a la dirección por donde debe prolongarse el batolito andino, reflejando solamente por las apófisis que llegaron a cruzar los niveles más altos de la cobertura.

En general son rocas de color gris blanquecino, equigranular, holocristalina, con excepción de los microgranitos. Muestras tomadas de la quebrada San Felipe, cerro Alizar (Colquimarca), minas Cascabamba, caserío Cushton, cerros Calladare y Collotán, corresponde a granodioritas y tonalitas.

Estos intrusivos, a menudo están relacionados con mineralizaciones de Cu, Fe, Pb y Zn, como rellenos de fracturas.

#### **d. Intrusivo Paltashaco (Tabaconas).**

Descrito como Granito de Paltashaco por Reyes & Caldas (1987). Es un granito de textura granular alotriomórfico con ortosa con leve alteración arcillosa, plagioclasas con débil alteración sericítica y biotita opaca. Se tienen dos afloramientos de gran extensión a lo largo del río Tabaconas.

La denominación proviene del pueblo de Paltashaco (c. de Morropón); es el pluton más importante y de mayor distribución geográfica de la región estudiada, reconociéndose en tres zonas principales:

- Una zona occidental, conformada por una faja alargada que constituye la parte baja de la Cordillera Occidental, a partir del río Piscán (c. de Morropón) hasta las cercanías de la presa San Lorenzo, pasando por la esquina noreste y suroeste de los cuadrángulos de Chulucanas y Ayabaca.
- Una zona central también bastante extensa, que empieza en el extremo norte de la hoja de Morropón y se extiende, hacia Pacaipampa, hasta el curso superior del río Quiroz (en el cuadrángulo de Ayabaca).
- Una zona oriental, en el cuadrángulo de Huancabamba, que se extiende entre las cercanías del río Huancabamba y Tabaconas observándose los en los flancos del río del mismo nombre tal como en Tamborapa, Charape y Panchilla; un pequeño cuerpo igualmente aflora al sur de Churuyacu.

#### **e. Intrusivo de Rumipite.**

Reyes & Caldas (1987), describen este intrusivo como de edad Cretácea, sin embargo, nuevas dataciones. Revelaron su edad Jurásica, correlacionándosele con el Batolito de Zamora. Es un cuerpo plutónico bastante extendido en esta parte de la Cordillera Oriental. Tenemos afloramientos en La Coipa, el más extendido al norte; mientras al sur tenemos unos afloramientos de intrusivos al oeste de Jaén, con una clara tendencia N-S. Comprende principalmente.

La tonalita es una roca gris leucocrata de grano grueso a medio y en la que la plagioclasa se presenta en cristales subhedrales, maclados y zonados (que varía entre oligoclasa en 28 a 38-40), alterada total o parcialmente a sericita, calcita y epidota; el cuarzo anhedral tiene extinción ondulante, esta microfracturado (rellenado por calcita) y presenta inclusiones de feldespatos; la biotita se encuentra en cristales subhedrales alterada a clorita, epidota, cuarzo, rutilo y opacos; finalmente, la horblenda en cristales anhedrales o subhedrales, alterada a clorita, calcita y opacos. Entre los minerales accesorios esta la ortosa (variedad microclina) alteradas a arcillas, luego trazas de apatita y zircón.

**Distribución.** - esta unidad plutónica constituye la prolongación de la tonalita-diorita. Rumipite descrita en el extremo oriental del cuadrángulo de Huancabamba, (Reyes, L.). Se trata de un cuerpo alargado con clara dirección N-S, tiene un afloramiento casi continuo y longitud plurikilométrica. Se ubica hacia el borde Oeste del área estudiada prolongándose fuera de esta.

Debido, principalmente a la exuberante vegetación desarrollada sobre los suelos que cubren buena parte de este intrusivo, no se han delimitado cartográficamente con mucha exactitud los afloramientos de tales rocas. Sin embargo, se observa que tales cuerpos intrusivos se han emplazado cortando a la secuencia volcánico-sedimentaria de la Formación Oyotun, ya que en algunos lugares se observan remanentes de esta unidad a modo de techos colgantes. La granodiorita es una roca de grano grueso, gris claro y de textura granular alotriomórfica.

Los minerales esenciales son: plagioclasa, con la composición de oligoclasa, alterada a sericita, epidota y calcita; cuarzo en grandes granos anhedrales y ortosa que se encuentra pertitzada y alterada a minerales arcillosos; los minerales accesorios están representados por opacos, biotita, apatita y zircón, la propilitización es la alteración principal, desarrollándose los siguientes minerales: clorita, epidota, sericita, arcillas y calcita; parcialmente la roca cruzada por microvenillas de epidota.

#### **f. Intrusivo Pomahuaca.**

Las intrusiones dacíticas y andesíticas porfíricas, constituyen cuerpos menores dimensiones que los anteriormente descritos, habiéndose emplazado generalmente a lo largo del rumbo del plegamiento y estratificación. Se presenta como cuerpos alargados, consistiendo muchas veces de sills o diques.

Los principales cuerpos de dacitas y andesitas porfíricas están representados por los stocks de Michiquillay, Calconga, Minas Aurora, Patricia, cerros Magante, Shichahuanca y Yanahuanca y al norte de Quiruvilca; a los que hay que agregar la intrusión del cerro Chapa, las del anticlinal de Algamarca (Minas Algamarca), cerro Blanco (Minas Sayapullo), Guzmango y los sills y diques como los del Observatorio Meteorológico del “Kanzel” (hacienda Sunchubamba), de los Baños termales de “La Grama” ubicados en el cerro Huaylillas y el de Callacullán (Quiruvilca).

Las dacitas porfíricas son grises claros, tienen texturas porfírica y matriz microcristalina. Sus minerales esenciales están constituidos por cuarzo y plagioclasas (andesita) microfracturadas, macladas, zonadas y parcialmente alteradas. Los fenocristales de cuarzo presentan bordes irregulares.

Los minerales accesorios están representados por hornblenda, sanidina, biotita, zircón y opacos.

En muchos lugares, la roca ha sufrido proceso de alteración hidrotermal, manifestada por carbonatación, sericitización, cloritización y epidotización.

Las andesitas porfíricas tienen un color gris claro, en parte faneríticas y de aspecto masivo. Presentan como minerales esenciales plagioclasa y hornblenda, las primeras en forma subhedral y anhedral, parcialmente alteradas y microfracturadas. Entre los minerales accesorios se presentan: biotita, cuarzo, apatita y pirita. Como minerales de alteración, se tiene: sericita, clorita, epidota y limonita.



Al igual que las dacitas, las andesitas están relacionadas con la mineralización de la región y mayormente afloran en las vecindades de los centros mineros; se supone que muchos de estos stocks fueron cuellos o chimeneas, por donde emergió el material volcánico, correspondiente a los niveles superiores, en gran parte erosionados del Grupo Calipuy.

**g. Intrusivos Subvolcanicos.**

**Piroxenita.** - La existencia de pequeños cuerpos básicos, entre ellos piroxenitas, han sido reportados en los cuadrángulos de Olmos y Morropón, pero solo un dique ancho ha sido reconocido en la parte baja del cerro Ñaupe.

Dicho cuerpo es una metapiroxenita gris oscura, de grano medio y de textura granoblástica-xenoblástica (parcialmente nematoblastica).

La roca se encuentra fuertemente alterada, constituida por intercrecimientos de horblenda, actinolita y biotita, probablemente a partir de clinopiroxenos; el contenido de talco y serpentina se supone proviene de la alteración de ortopiroxenos; el metamorfismo ha alcanzado las facies de esquistos verdes. Que probablemente sea cretácea.

**Andesita y dacita.** - En los alrededores de San Felipe y Piquijaca y en la carretera que baja del abra de Porculla al río Huancabamba, se presentan stocks de andesitas gris verdosas, de textura porfiritica, y brechas piroclasticas; las primeras intruyen al Cretáceo, mientras que las segundas intruyen al Complejo de Olmos. Por sus relaciones parecen ser más antiguas que las dacitas.

Con una potencia que varía entre 200 y 500 mts. Y está representada por brechas moradas y tufos colorados, verdes, rosados, morados, etc., con lavas andesiticas y lutitas tufaceas en capas medianas con sill de dacitas sector de Pomahuaca. (Moya., 1971).

En los diferentes flancos de los ríos Huancabamba y Quismanche, se exponen pequeñas apófisis de dacita, siendo mayor el Quismanche. De igual forma se tiene otro intrusivo de este tipo en la parte baja del cerro La Calera (c. de Olmos). En general son dacitas blancas o blanco-grisáceo de estos cuerpos intruyen al Volcánico Porculla, por lo que su edad, probablemente es Terciario medio.

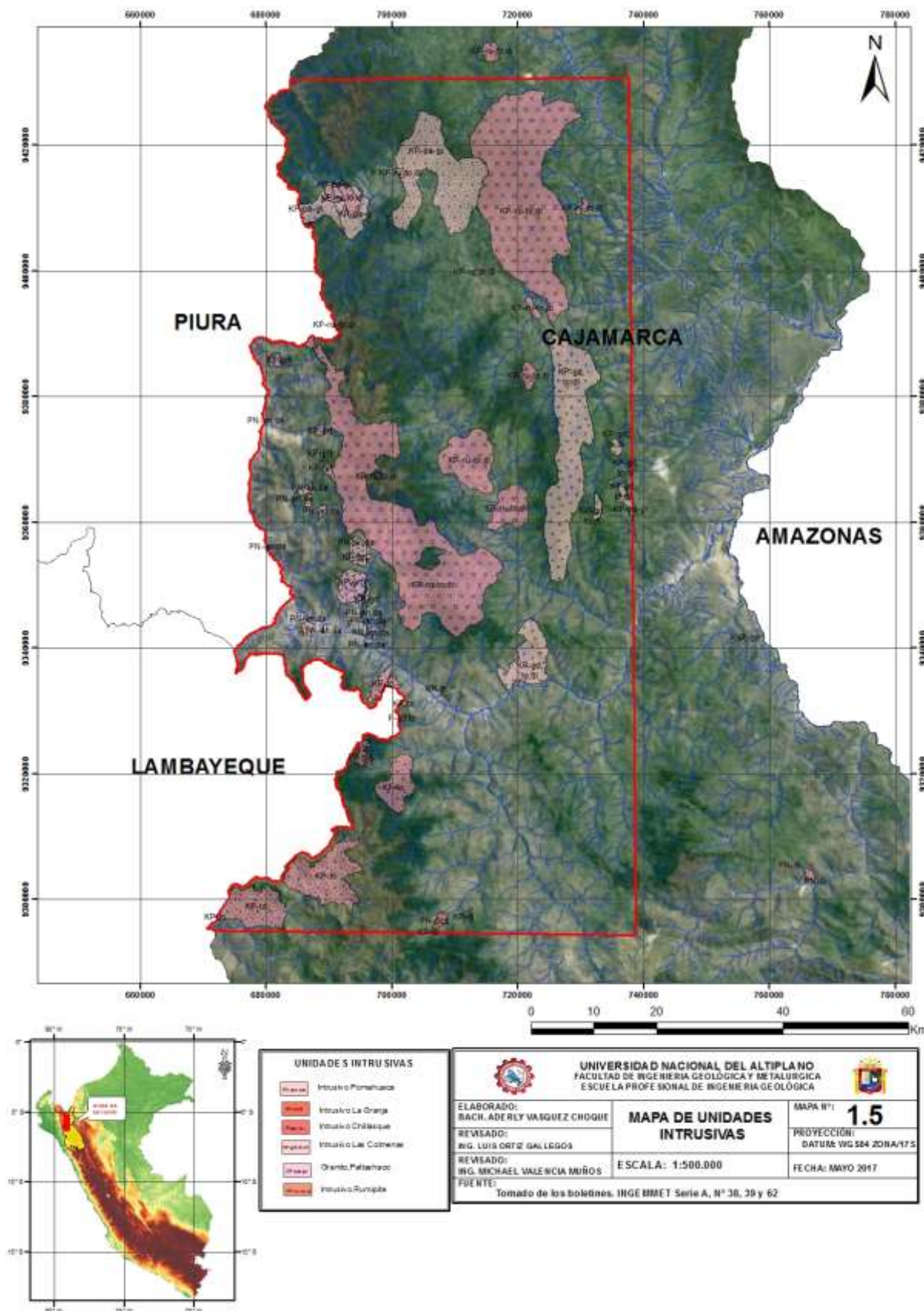


Foto N° 19 : Mapa de Unidades intrusivas de la zona de estudio (Modificado Boletines.INGEMMET Serie A. N° 38,39 y 62)



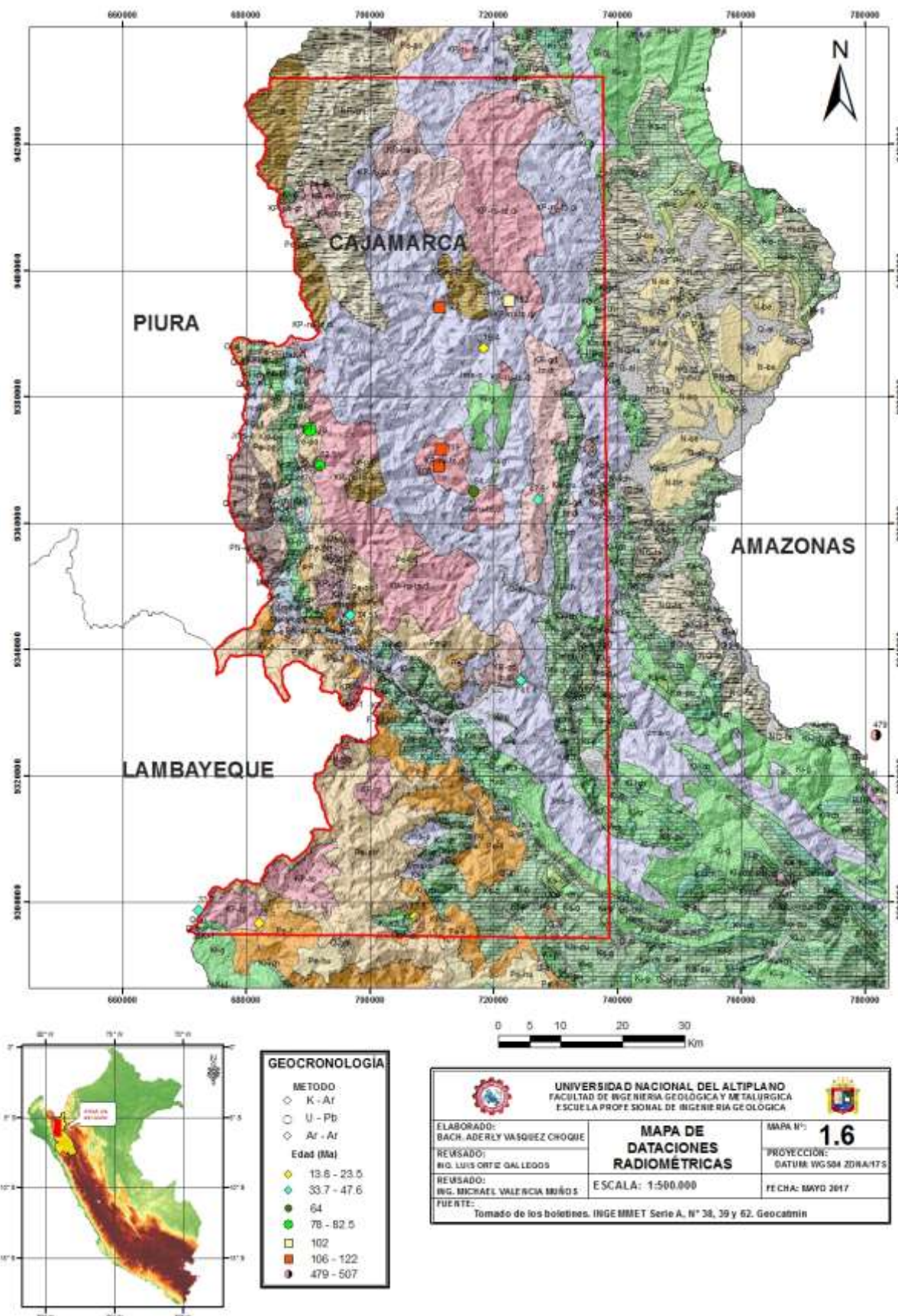


Foto N° 20 : Mapa de Dataciones radiometricas de la zona de estudio.  
(Modificado Boletines.INGEMMET Serie A. N° 38,39 y 62. GEOCATMIN).

### 3.4.8 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras están relacionadas a principales movimientos tectónicos del ciclo andino. Las principales zonas estructurales de la región se han diferenciado según la magnitud, estilo de deformación que han sufrido debido en parte de 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 todos los afloramientos rocosos. En general esta completamente relacionado al sistema Andino en el Perú que presenta una orientación NO-SE.

Pliegues, fallas y diaclasas ponen en manifiesto la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado en el área de estudio y han diferenciado las zonas.

Con las herramientas brindadas por teledetección que son 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.

Desde el punto de vista, la región estudiada se encuentra ubicada en una de las zonas crítica de los Andes; está afectada por la llamada deflexión de Huancabamba, donde la estructuración NNO-SSE característica de los Andes Centrales varía a la dirección NNE-SSO, propia de los Andes Septentrionales a Colombo-venezolanos (GANSSER, 1973).

Los eventos tectónicos que controlaron la estructuración y levantamiento de los Andes ocurrieron principalmente entre el Cretáceo y el Terciario (siendo la más importante la fase “incaica” de Eoceno superior), (Wilson, 1970) ha descrito el desarrollo paleotectónico del noreste del Perú durante el Mesozoico (Cretáceo), aunque los macizos paleozoicos o precámbricos se formaron con orogénesis más antiguas jugando probablemente, un rol muy importante al controlar o modificar después del tectonismo andino. Se caracteriza por presentar pliegues amplios con ejes, en su mayoría, de dirección andina y un sistema de fallamiento longitudinal, tanto normal como inverso, con rumbos preferenciales N-S; NO-SE y SO-NE en el sector septentrional.

#### **Pliegues y Fallas.**

Esta unidad ocupa la mayor parte de la región estudiada situándose al Oeste del río Marañón. Esta zona está desarrollada en unidades que abarcan edades desde el triásico-Jurásico (Grupo Pucará) hasta el paleógeno (Formación Chota), comprendiendo por su naturaleza tanto a secuencias sedimentarias como volcánicas sedimentarias, incluyendo las rocas intrusivas emplazadas durante el Cretáceo inferior.

Las mejores exposiciones del plegamiento y fallamiento se observan en la secuencia sedimentaria del Cretáceo.

Los principales pliegues y fallas de este sector tienen una dirección NO-SE en la parte Sur y luego cambian a N-S o NNE-SSO. Sin embargo, existen rasgos estructurales menores que siguen una orientación NE-SO.

Los pliegues han sido deformados por las fallas posteriores, de manera que no se observan en esta zona, pliegues bien conservados, no obstante, existen algunos sinclinales que se ubican en el Mirador, al suroeste de Huabal y Cascarilla. Los anticlinales se observan parcialmente; el más conspicuo es aquel de San Miguel, cuyo flanco oriental se encuentra mayormente invertido, sugiriendo la presencia de una falla regional que limita a las montañas del Oeste con la depresión topográfica del Este y rellenada por depósitos del Neógeno-Cuaternario, mayormente al Este del lineamiento definido por Jaén, Shumba y

Chamaya. Las fallas inversas esta principalmente concretadas en el área comprendida entre la intersección de los ríos Huayllabamba y Huancabamba (Cerros Tranca Alto, Alto Coronga, Sullana).

Las fallas tienen varias decenas de Kilómetros de largo en su totalidad se encuentran buzando al O y SO. Están mayormente asociados y yuxtaponiendo bloques de la formación Oyotún con la secuencia sedimentaria del Cretáceo. No obstante, su extensión lateral y desplazamiento horizontal, las fallas, al parecer, no han afectado mayormente el basamento Paleozoico o Proterozoico, ya que no se ha observado afloramientos rocosos de esa edad. La falla localizada en la margen izquierda del valle del Marañón (frente a Cumba), ha permitido el ascenso de las calizas triásico-Jurásicas del Grupo Pucara, (Salazar, 1967) al respecto menciona que esta estructura podría estar relacionada con fallas transversales de tipo normal, que han delineado el curso del río Marañón.

La falla que pasa inmediatamente al Este de la Palma ha levantado el bloque oriental constituido por la Formación Oyotún, interpretándose como una falla normal. Sin embargo, hacia el Sur, su movimiento tiene una componente horizontal y sentido inverso.

### **Inflexion de Huancabamba.**

En el cuadrángulo de Jaén es muy evidente el cambio de dirección de las estructuras, justamente en coincidencia con el curso del río Chamaya, Las estructuras se encuentran hacia el Sur del río tienen una orientación SE-NO, y hacia el Norte optan por una orientación N-S a SSO-NNE.

Asociados con esta deflexión de estructuras se observan pliegues de rumbo NE-SO a la altura de Mesones Muro, en las inmediaciones de Chamaya, en el Cerro San Roque; y algunas fallas de dirección similar, de juego dextral, a que evidencian cambio de esfuerzo y un giro dextral en la zona al Norte de río de Chamaya.

La inflexión afecta, esencialmente, a secuencias mesozoicas, no obstante, se observan pliegues de dirección NE-SO en la secuencia Neógena; como aquel pliegue anticlinal que pasa por los Cerros Pongo y Sanora de Inguro, que al parecer representan la reactivación de fallas o pliegues más antiguos que rotaron en relación con la parte Sur, que permaneció estable por la presencia del bloque del Marañón. La mayor parte de pliegues y fallas que se observan en el área de estudio, parecen ser el resultado de una formación iniciada a fines el Cretáceo y que ha continuado levantando la región con diverso grado de intensidad.

La inflexión de Huancabamba caracterizada por un proceso de deformación con rotación dextral y empuje hacia el Este, parece estar relacionada a la discordancia que se observa entre la Formación el Milagro y la Formación Bellavista, ya que esta cubre estructuras con rumbo NE-SO y a su vez presenta pliegues más suaves con tal orientación, lo que significaría una reactivación de estructuras preexistentes y la continuación de la inflexión por lo que se deduce que esta rotación aconteció durante el Mioceno inferior a medio, y posiblemente a inicios del Mioceno. La presencia de estructuras transversales testifica una zona de debilidad con rumbo de N35° a 45°E, con la cual se asocian aquellas fallas de rumbo N50° a 60°E, ubicadas al Norte del río Chamaya.

### **Sinclinal Bagua-Huarango.**

Ubicado en el extremo sureste de la hoja de San Ignacio; es la prolongación del pliegue sinclinal que abarca los valles del Utcubamba y Chinchipe hacia el río Chirinos y la parte



baja de la quebrada Porvenir (Huarango- Huarandoza). Este pliegue de amplitud kilométrica abarca parcialmente las hojas de San Ignacio, Jaén y Bagua Grande.

Esta zona corresponde a un pliegue sinclinal asimétrico, cuyo eje con dirección casi continua NO-SE, es casi paralelo a los ríos Chinchipe y Utcubamba, constituye un pliegue amplio con replegamientos como los observados entre Chamaya y Corral Quemado (Hoja de Jaén). Los buzamientos de las unidades conformantes de este sinclinal van desde los 20° a 65°, formando estructuras menores en el Pongo de Rentema. La Formación Tamborapa que es la parte superior de la secuencia continental del Paleógeno - Neógeno, se encuentran rellenando esta depresión estructural. Se considera que la paleogeografía de la cuenca tuvo mucha importancia en la formación de esta estructura, ya que las rocas pre-cenozoicas sin mayor deformación configuraron la cuenca, rellenada casi en forma concordante por los depósitos continentales del Cenozoico. Esta cuenca fue sometida a levantamientos progresivos con diversos grados de deformación.

### **Sinclinorio Chiriaco-Imata.**

Esta estructura se reconoce en la parte Norte de la hoja de Aramango entre los ríos Marañón y Chiriaco, consta de dos pliegues sinclinales y un anticlinal central cuyos ejes se disponen en forma radial hacia el ENE. Este sinclinorio ha deformado rocas Meso-Cenozoicas; su desarrollo corresponde, al parecer, a la época en que se produjo la inflexión de Huancabamba que ocasiono la rotación de las estructuras, que tenían una dirección inicial NO-SE girándolas al NE-SO; rumbo que caracteriza a la Cordillera del Cóndor.

### **Sistemas de Fallas Regionales.**

Es la zona de mayor deformación relativa en el área de estudio; observándose con mayor amplitud en el cuadrángulo de Rio Santa Agueda y Aramango, en la cual las fallas longitudinales son de tipo inverso y normales de alto ángulo y gran longitud.

El rumbo preferencial de estas fallas es mayormente N-S en el cuadrángulo de Rio Santa Agueda y en las esquinas adyacentes de la parte septentrional de los cuadrángulos de San Ignacio y Aramango.

En la mayor parte del sector sur las estructuras tienen una dirección NE-SO; También existen fallas transversales de rumbo NE-SO que truncan a las estructuras mayores que siguen el rumbo andino.

### **Falla el Recodo.**

Esta estructura corresponde a una falla inversa de alto ángulo y recorrido kilométrico, cuya prolongación es reportada a lo largo del territorio ecuatoriano, fallando al Batolito de Zamora. En la localidad El Recodo, cerca al puerto Chinchipe-San Ignacio, se observa claramente que el Grupo Goyllarisquizga se ha elevado poniéndose en contacto lateral con la Formación Chuléec.

En gran parte de su recorrido la falla ha levantado la Formación Oyotun (Jurásico medio) dejándola en contacto con el Grupo Goyllarisquisga (Cretáceo Superior), y determinan aparentemente los límites de la cuenca Bagua con relación a la sedimentación Neógena para esta área.



**Foto N° 21** : Estructura aflorante en la localidad el Recodo  
Toma de datos estructurales.

### **Falla Chirinos.**

Se le reconoce a lo largo del río Chirinos (hoja de Río Santa Agueda) como falla inversa de alto ángulo con desplazamiento vertical en algunos tramos, pone en contacto las rocas metamórficas del Complejo Marañón con el Grupo Goyllarisquisga, cerca de la comunidad nativa de Supayacu.



**Foto N° 22** : Afloramiento de estructura en la comunidad de Supayacu  
Toma de datos estructurales.

### **Bloqué Metamórfico**

Esta zona estructural se observa en la hoja de Aramango y Río Santa Agueda. Se encuentra aflorando, por fallamiento o erosión, a manera de bloques aislados, se caracteriza por presentar replegamientos, esquistosidad, bandeamiento mineralógico, etc. Morfológicamente conforma superficies suaves y depresiones; cuyo conjunto se interpreta como un bloque levantado que paleográficamente ha condicionado la sedimentación Mesocenoica.



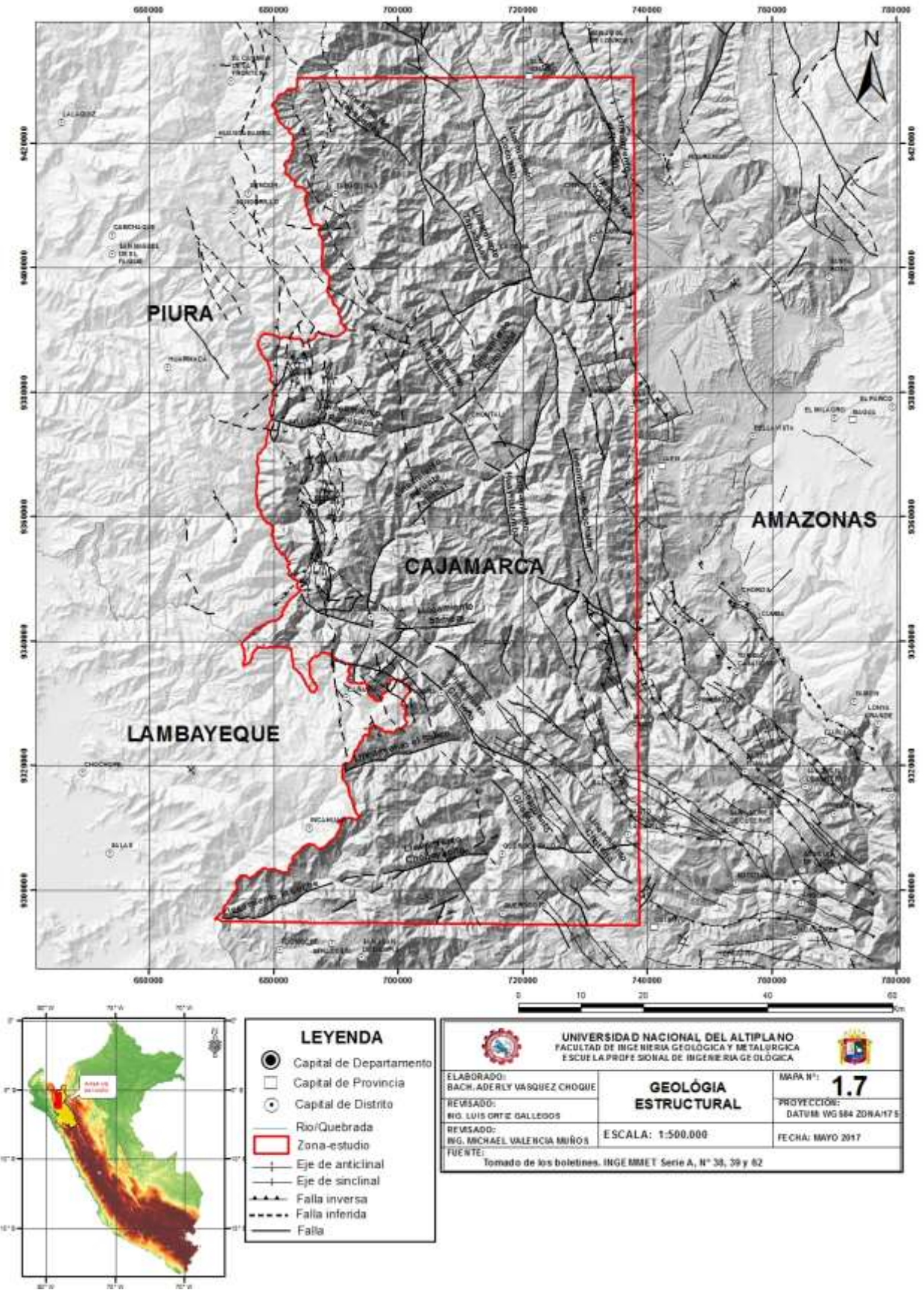


Foto N° 23 : Mapa geológico estructural de la zona de estudio (Modificado Boletines.INGEMMET Serie A. N° 38,39 y 62)



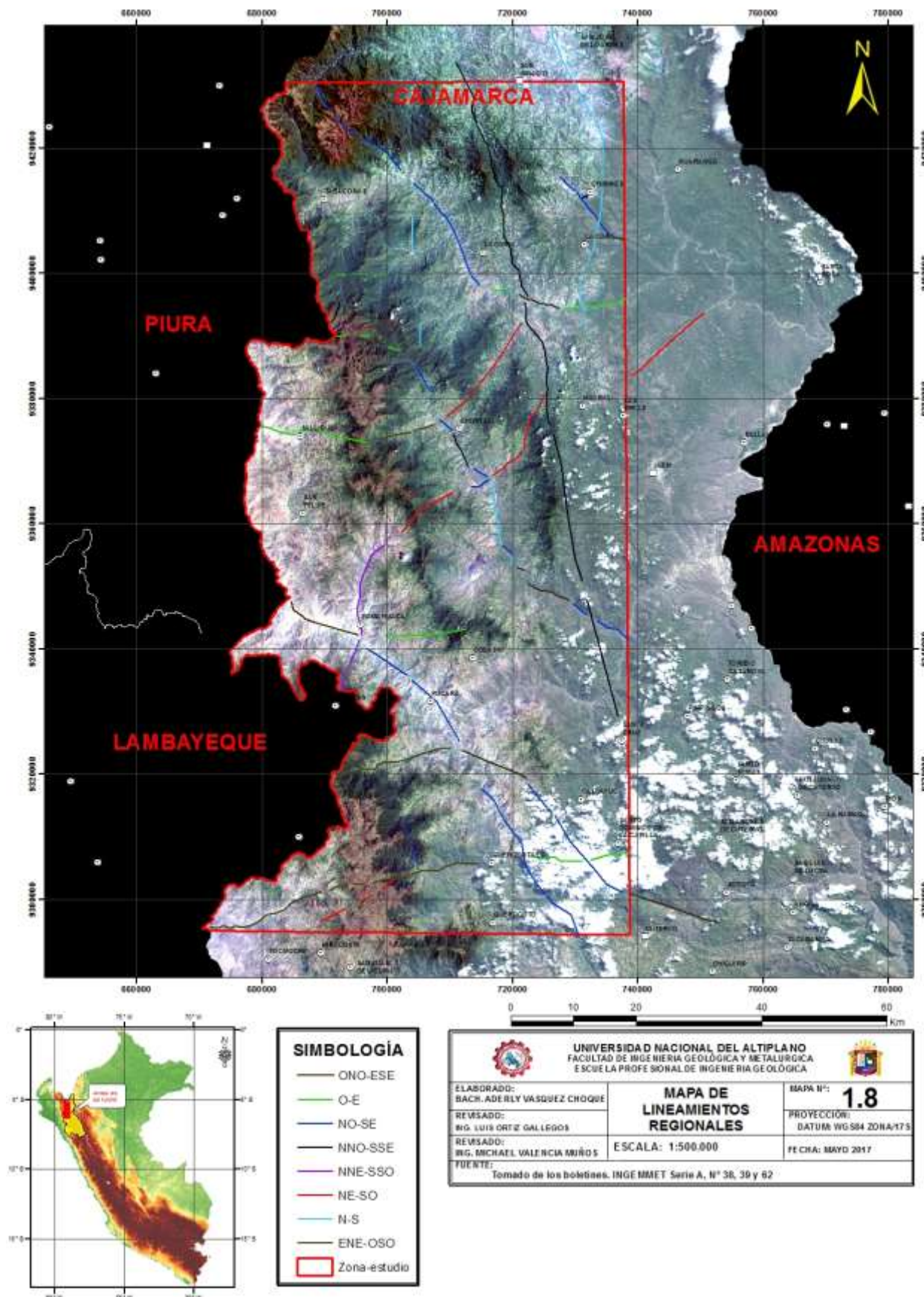


Foto N° 24 : Mapa de lineamientos regionales.  
 Filtros direccionales de la zona de estudio  
 (Modificado Boletines.INGEMMET Serie A. N° 38,39 y 62. Area de Teledetección)

### 3.4.9 ESTUDIO PETROGRAFICO Y MINERALOGICO

Se han recolectado un total de 24 muestras que han sido escogidas para ser preparadas, estudiadas y analizadas teniendo en cuenta la litología observada según se trabajó en las zonas visitadas. Estas 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 del segmento en estudio, en su mayor proporción han sido agrupadas bajo un criterio bien detallado de tal manera caracterizarlos independientemente. La clasificación y nomenclatura petrográfica se ha realizado utilizando los Diagramas de Strekeissen (1976).

La primera etapa consiste en la preparación de las muestras se realizó en el laboratorio de petrología del INGEMMET, 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 de mano, manteniendo sus características. Las Secciones Pulidas se trabajan a partir de una muestra de mano de la misma manera que las Secciones Delgadas.

La segunda etapa consiste en el estudio 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 2x1 cm x 1 cm aproximado teniendo cuidado de tomar la muestra representativa.
- Impregnación: haciendo uso de la unidad de impregnación se procede a impregnar la muestra (CHIPS).
- Lapelado preliminar, intermedio, fino: haciendo uso de la pulidora semiautomática y el disco magnético adecuado (N° 120, 400, 1000) se lleva a cabo el lapelado de la muestra con la finalidad de eliminar el deterioro y la deformación de la muestra hasta obtener una superficie plana extensa como sea posible de rayadura, porosidad y relieve.
- Pegado de la muestra al porta objeto: 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 lapelada, se une ambas superficies montando la muestra sobre el portaobjetos, y se presiona eliminando las burbujas y el excedente de aglutinante.
- Segundo corte de la muestra: haciendo uso del equipo semiautomático y utilizando la sierra diamantada adecuada se corta la muestra a un espesor de 500 micras aproximadamente.
- Desbaste inicial: (100 micras de espesor aproximadamente).
- Desbaste intermedio: (50 micras de espesor aproximadamente).
- 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 (Briquetas) 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 2x1cm x 1cm aproximadamente, teniendo presente de sacar la más representativa.
- Impregnación: haciendo uso de la unidad de impregnación se procede a impregnar la muestra (CHIPS).
- Encapsulación: la muestra es encapsulada dentro de un molde redondeado adecuado de 40 mm de diámetro.
- Lapelado preliminar, intermedio, fino: haciendo uso de la pulidora semiautomática y el disco magnético adecuado (N° 120, 400, 1000-1200) se lleva a cabo el lapelado de la muestra con la finalidad de eliminar el deterioro y la deformación de la muestra hasta obtener una superficie plana extensa como sea posible de rayadura, porosidad y relieve.
- Pulido preliminar, intermedio y fino: Haciendo uso de la pulidora automática, paños, lubricantes y las suspensiones de diamante (6,3,1 ¼ micrón)
- Control de calidad.
- Limpieza, rotulado, codificación y registro.

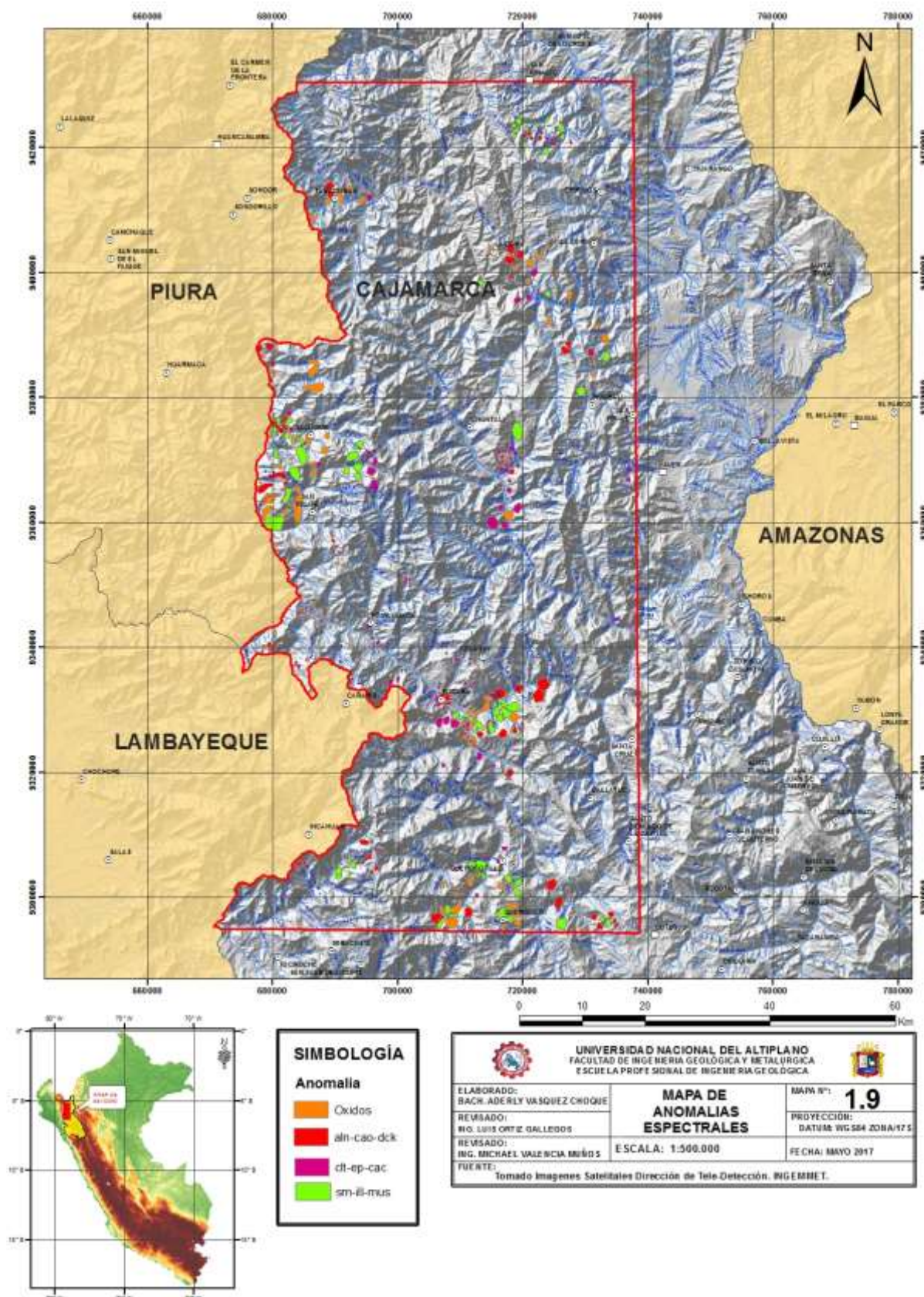


Foto N° 25 : Mapa de Anomalias espectrales de la zona de estudio (Tomado de imagenes satelitales-Dirección de Teledetección. INGEMMET)



### A. Estudio Petrografico del Intrusivo la Granja.

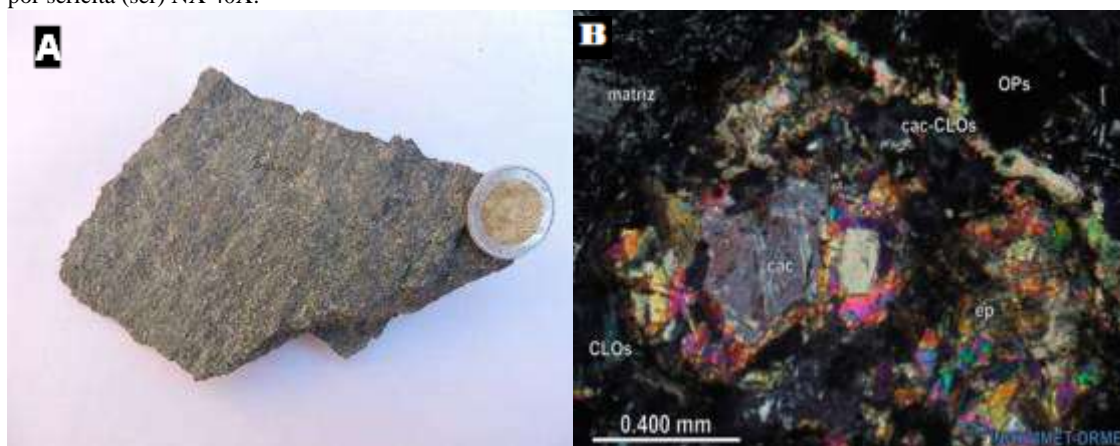
Se han analizado las muestras de rocas de este intrusivo, que varían entre pórfido dacítico a dacita que ocupa el 5 % del área de estudio y esta representado por el código 13f-R-012, ubicado en el cuadrángulo de 13f, Provincia de Chota, Distrito de Querocoto a una cota de 2097 msnm, en campo se reconoció como un cuerpo de 10x50 (m) ancho y longitud aproximadamente, roca caja hospedante pórfido dacita, presenta asociaciones de minerales de alteración hidrotermal argílica-fílica moderada con ensamblajes mineralógicos de sericita-cuarzo, con una textura perbasiva, el tipo de depósito el cual se definió como pórfido dacita con moderada a fuerte alteración, textura perbasiva. Con presencia de venillas rellenas de calcitas y sulfuros, patinas de óxidos de Fe menores a 4 cm de potencia. Ocupa el sector S del segmento de estudio, a 50 m de la unidad minera La Granja estado actual en stand by por su alto contenido del Arsenico.

### B. Estudio Petrografico del Intrusivo Chillasque.

Se han realizado estudios en las muestras de este intrusivo, y esta representa con los códigos 13e-R-067 que se determinó en campo como una roca tonalita, de grano grueso in situ inalterado y 13e-R-068 ubicados en zona centro del segmento de estudio, en el cuadrángulo 13e de Incahuasi, Provincia de Jaén, Distrito de Pukara que se determinó en campo como un cuerpo de 10x10m de ancho y de longitud aproximadamente, con minerales de ganga de Cuarzo, Feldespatos, con una textura granular.



**13e-R-67 A:** fotografía de muestra de mano. **B:** Fotomicrografía de playa de ortosa (ort) con inclusiones de plagioclasas (PGLs) y anfíboles (ANFs) en contacto con clorita (CLOs) y moldes de plagioclasas (PGLs) reemplazado por sericita (ser) NX 40X.

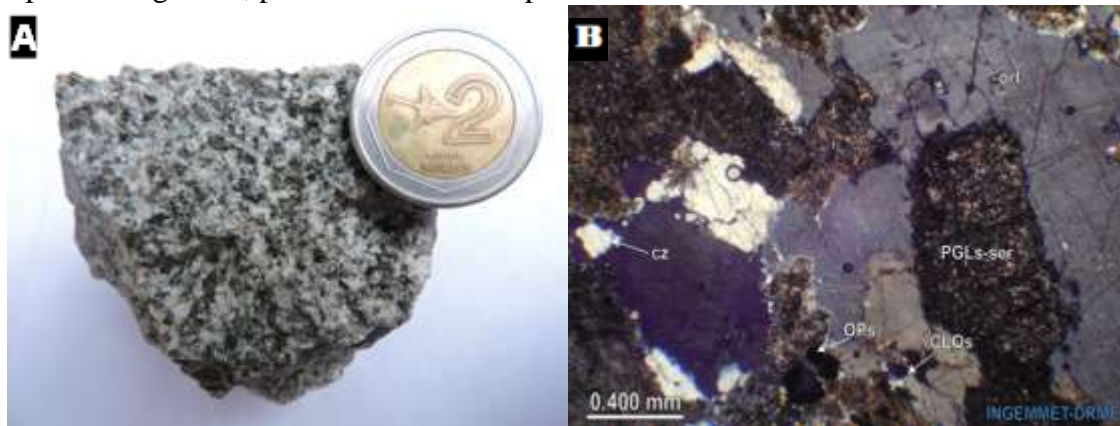


**13e-R-68 A:** Fotografía a escala de la roca volcánica porfirítica. **B:** Fotomicrografía de molde tabular posible de ferromagnesianos reemplazado por epidota (ep), calcita (cac) y cloritas (CLOs), envuelta por una matriz microlítica Vista NX 160X.

### C. Estudio Petrografico del intrusivo las Colmenas.

Macroscópicamente se realizó estudios de las muestras, que están representadas por los siguientes códigos 12f-R-013, 12f-R-001, 12f-R-003, 12f-R-026, 13e-R-069 y GR9-10-134 en campo reconocidos como granodiorita porfírica, granodiorita, granito monzogranito, con niveles de epiditización.

Se encuentran ubicadas en la parte NO del segmento de estudio, aflora varios kilómetros. Cuerpo intrusivo de composición monzogranito, con componente modal de feldespato potásico 35%, plagioclasas 25%, cuarzo 15%, maficos y accesorios 25%. Textura fanerítica con fenocristales de hasta 0.5 mm, presenta venillas finas con dirección N250°/90° Y N170°/8°. Presencia de minerales de ganga como cuarzo y minerales accesorios plagioclasas, feldespato potásico, clorita, epidota y la roca hospedante es de tipo monzogranito, presenta una textura porfírica alterada.

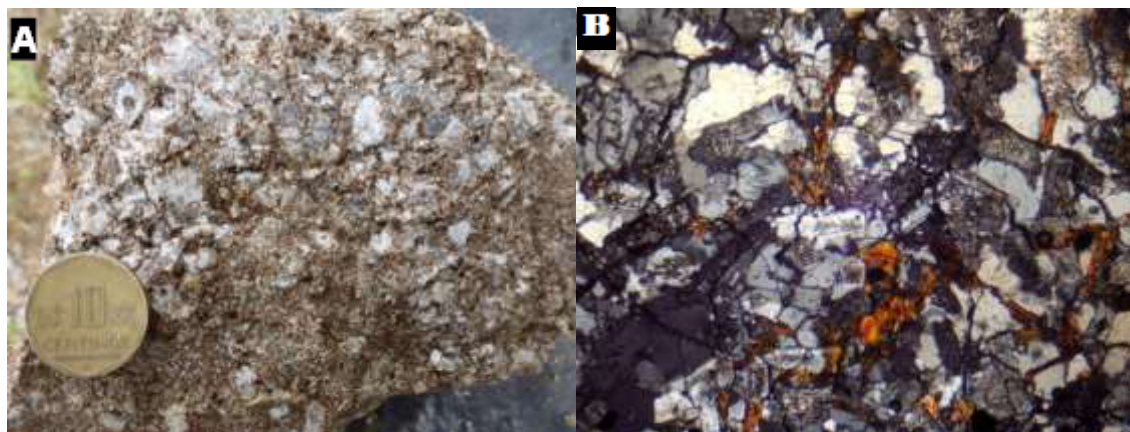


**12f-R-026 A:** Fotografía de muestra de mano. **B:** Fotomicrografía de molde tabular con sericita (ser) envuelta por ortosa (ort), acompañado de cuarzo (cz), algunos cristales de minerales opacos (OPs) y clorita (CLOs) NX 40X.

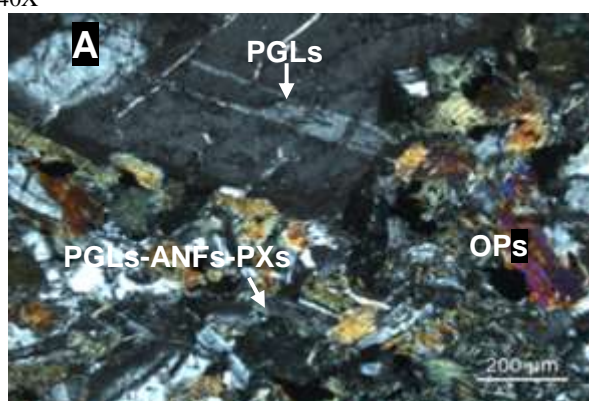
### D. Estudio petrografico del Intrusivo Paltashaco.

Macroscópicamente se realizó estudios de las muestras, que están representadas por los siguientes códigos 11e-R-014, GR9-09-104, TAB-1A, granito, matadiorita intrusivo granítico con biotita y fenos de hasta 1 cm, fuertemente meteorizados. Presencia de escasas vetillas finas.

Se encuentran ubicadas en la parte NE del segmento de estudio, aflora varios kilómetros. Roca intrusiva de color gris blanquecino de textura fanerítica de grano medio, compuesta por cristales de cuarzo 43%, feldespatos potásicos 17%, plagioclasas 13%, ferromagnesianos 17%, maficos y accesorios 10%.



**11e-R-014 A:** Fotomicrografía de NX 40X **B:** Fotomicrografía de NX 40Xñ. **B:** Fotomicrografía de NX 40X.  
**B:** Fotomicrografía de NX 40X



**A:** NXs Fenocristal de plagioclasas (PGLs) en matriz de plagioclasas, anfíboles y piroxenos (PGLs-ANFs-PXs). Ocurren minerales opacos (OPs) diseminados.

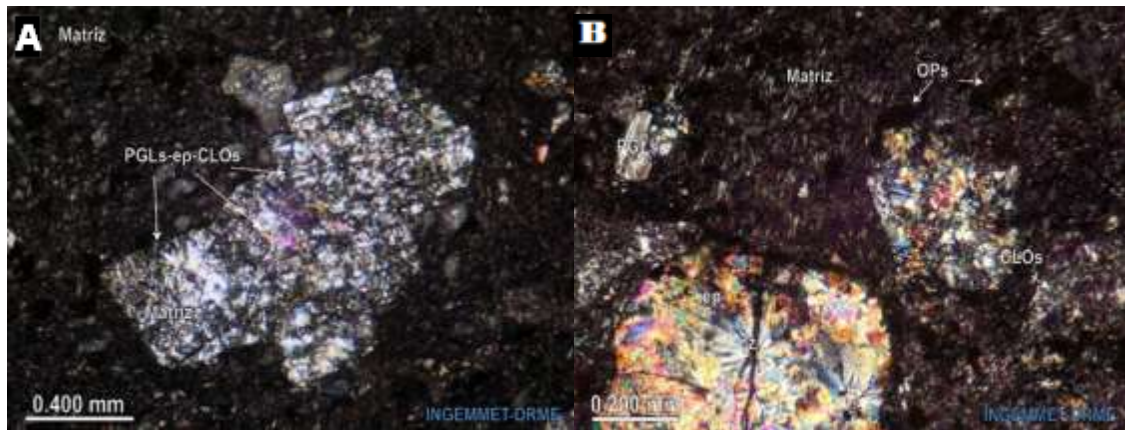
### E. Estudio Petrografico del Intrusivo Rumipite.

Macroscopicamente se realizo estudios de las muestras, que están representadas por los siguientes códigos 11f-R-011, 11f-R-012, 11e-R-006, GR7-18410, Pa-03, M-SA-05, M-TAB-01, COLA-06, se describió en campo como los siguiente stipos de roca: granodiorita, tonalita, pórfido diorita, diorita feldespática, dique andesitico, cuarzo monzonita.

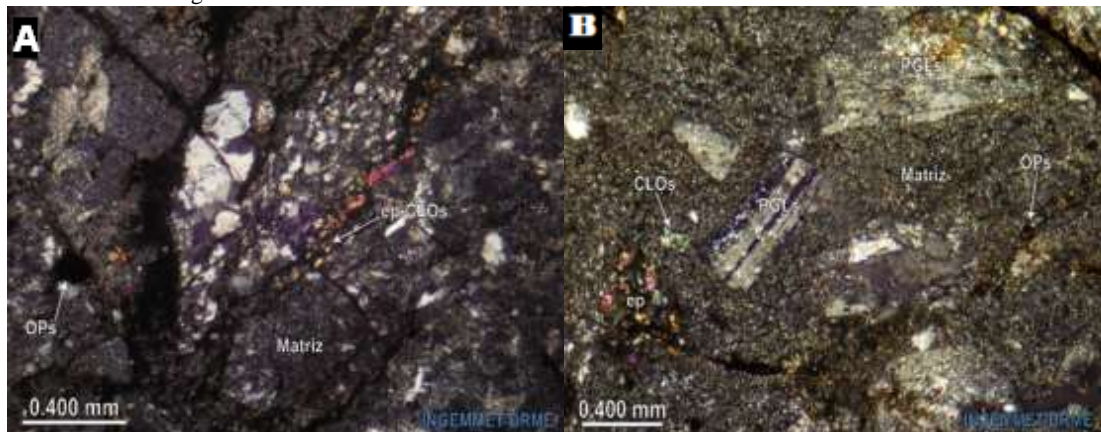
Se encuentran ubicadas centro-sur del segmento de estudio, roca de color gris claro a gris verdoso, de grano medio a grueso, Intrusivo porfíritico verde oscuro con abundantes máficos y numerosas vetillas de cuarzo entrecruzadas de 0.2 - 0.1 (mm) de grosor y de diques de andesita porfiritica con dirección (N120/ 50), de 0.5 - 1 (m) de potencia, presentando textura granular.

Compuesto por cristales de plagioclasas 15%, feldespatos potásicos 25%, anfíboles 15 %, cuarzo 35% y máficos y accesorios ferromagnesianos 10 %. Se observa alteración de los anfíboles a cloritas.

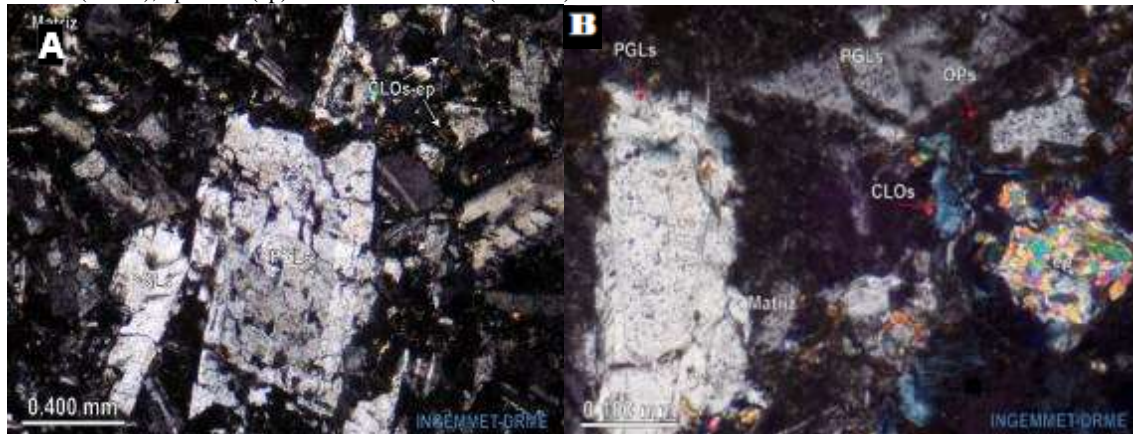




**Muestra: 11e-R-006:** Fotomicrografía de NX 40X **B:** Fotomicrografía de NX 40Xñ. **B:** Fotomicrografía de NX 40X. **B:** Fotomicrografía de NX 40X.



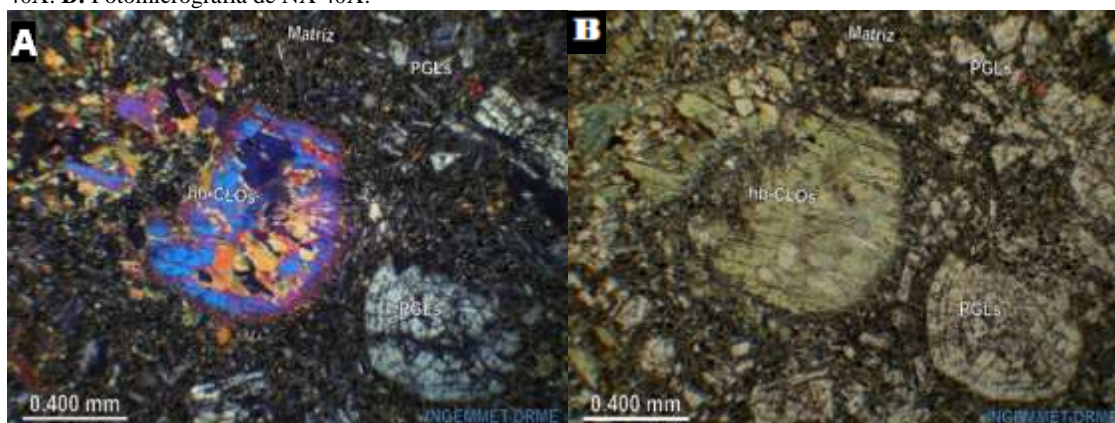
**Muestra: 11e-R-005** **A:** Fotomicrografía con presencia de zona de trituración y presencia de granoblastos de cuarzo (cz), en las microfisuras de esfuerzo reemplazado por epidota (ep), minerales opacos (OPs). NX 40X **B:** Fotomicrografía de fenocristales de plagioclasas(PGLs) con maclas presencia de sericitas (ser), cuarzo (cz), cloritas(CLOs), epidotas (ep) con óxidos de hierro (OXsFe) en matriz microcristalina NX 40X.



**Muestra: 11e-R-012** **A:** Fotomicrografía de NX 40X **B:** Fotomicrografía de NX 40Xñ. **B:** Fotomicrografía de NX 40X. **B:** Fotomicrografía de NX 40X.



**Muestra: 11e-R-012<sup>a</sup>** A: Fotomicrografía de NX 40X B: Fotomicrografía de NX 40Xñ. B: Fotomicrografía de NX 40X. B: Fotomicrografía de NX 40X.



**Muestra: 11f-R-015** A: Fotomicrografía de hornablenda(hb) con alteraciones a cloritas(CLOs) microfracturada, fenocristal de plagioclasas(PGLs) en corte basal con zonamiento; matriz granular muy fina con diseminaciones de minerales opacos y listones se plagioclasas y minerales ferromagnesianos. Vista NX 40X. B: Fotomicrografía de A N// 40X.

#### F. Estudio Petrografico del Intrusivo Pomahuaca.

Macroscopicamente se realizo estudios de las muestras, que están representadas por los siguientes códigos JA-2, GR9-09-113, GR9-10-141, se describio en campo como una roca dacita, andesita porfirítica y monzodiorita.

Con una litología de color gris claro a pardo claro parcialmente afanítica, compuesta por fenocristales de plagioclasas 55 %, feldespatos potásicos 15%, cuarzo 25%, maficos y accesorios 5%, en una matriz constituida por feldespatos y cristales de minerales opacos dispersos. La roca se presenta alteración argilica moderada, ensamble sericita-cuarzo, con niveles de alteración propilitica, esamble clorita - pirita-carbonato.



**Tabla N° 14 : Relación de muestras<sup>18</sup>. (Vasquez, 2017).**

<b>UNIDADES INTRUSIVAS DEL SEGMENTO DE ESTUDIO</b>			
<b>N°</b>	<b>CODIGO</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>UNIDAD</b>
1	13f-R-012	GE33-3	Unidad Intrusiva la Granja
2	13e-R-068	GE33-3	Unidad Intrusiva Chillasque
3	13e-R-067	GE33-3	Unidad Intrusiva Chillasque
4	12f-R-013	GE33-3	Unidad Intrusiva Las Colmenas
5	12f-R-001	GE33-3	Unidad Intrusiva Las Colmenas
6	12f-R-003	GE33-3	Unidad Intrusiva Las Colmenas
7	12f-R-026	GE33-3	Unidad Intrusiva Las Colmenas
8	13e-R-069	GE33-3	Unidad Intrusiva Las Colmenas
9	GR9-10-134	Geocatmin	Unidad Intrusiva Las Colmenas
10	GR9-09-104	Geocatmin	Unidad Intrusiva Paltashaco
11	TAB-1A	Geocatmin	Unidad Intrusiva Paltashaco
12	11e-R-014	GE33-3	Unidad Intrusiva Paltashaco
13	GR7-18410	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
14	Pa-03	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
15	M-SA-05	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
16	M-TAB-01	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
17	Yo 80304	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
18	COLA-06	Geocatmin	Unidad Intrusiva Rumipite
19	11f-R-012	GE33-3	Unidad Intrusiva Rumipite
20	11f-R-011	GE33-3	Unidad Intrusiva Rumipite
21	11e-R-006	GE33-3	Unidad Intrusiva Rumipite
22	JA-2	Geocatmin	Unidad Intrusiva Pomahuaca
23	GR9-09-113	Geocatmin	Unidad Intrusiva Pomahuaca
24	GR9-10-141	Geocatmin	Unidad Intrusiva Pomahuaca

18 GE: Geología Económica. GR: Geología Regional. JA, COLA, Pa, M-TAB: Códigos de proyectos ejecutados.

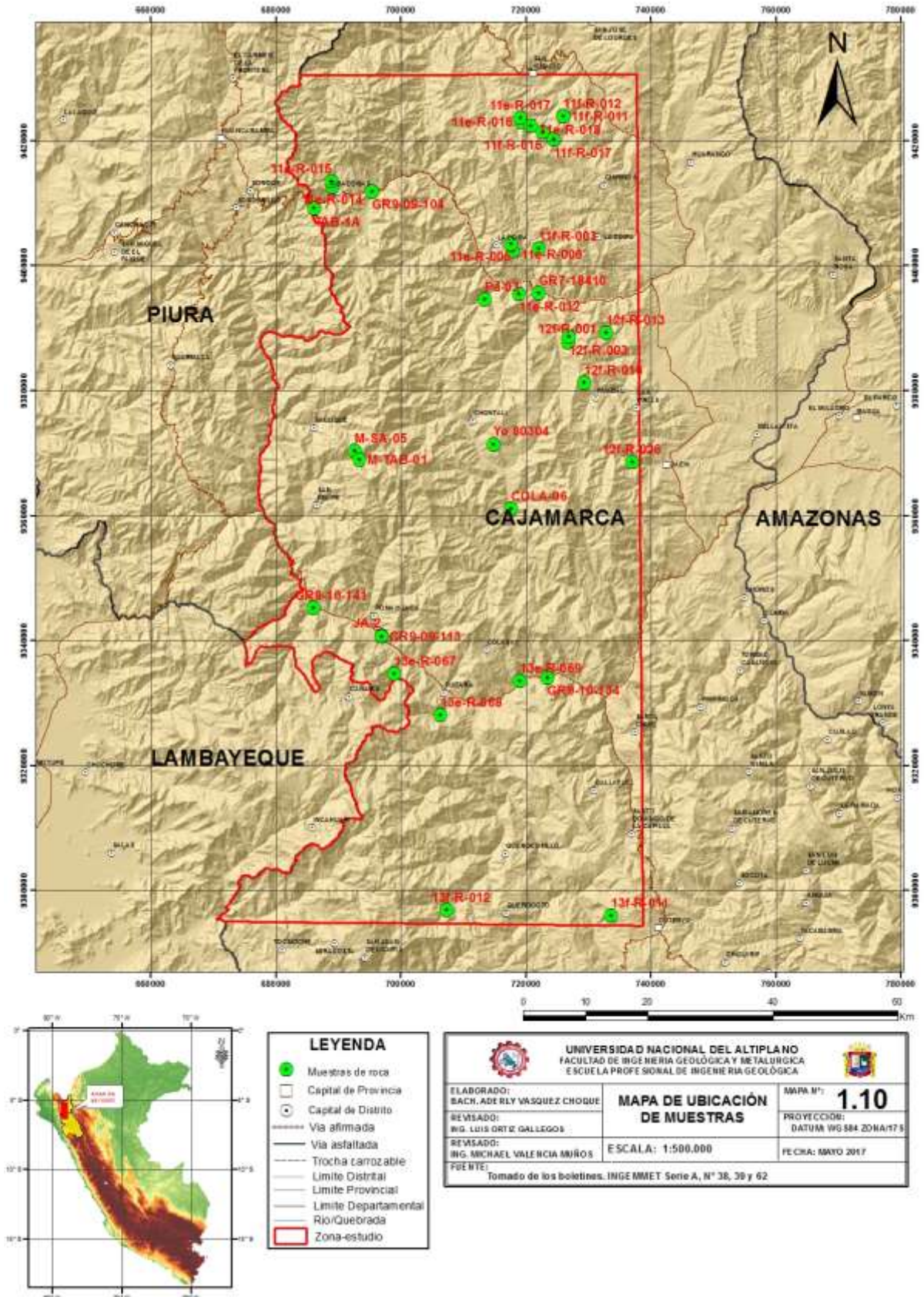


Foto N° 26 : Mapa de Ubicación de puntos de muestreo Método rock chip. (Tomado-Dirección de Teledetección. INGEMMET)



## CAPITULO IV

### RESULTADO Y DISCUSION

#### 4.1 LITOGEOQUIMICA DE LOS INTRUSIVOS DEL SEGMENTO JAEN – SAN INGNACIO-CAJAMARCA.

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 en 10% de elementos volátiles disueltos.

A raíz de la profundidad con la que se consolidan forman las rocas intrusivas, hipohabisales 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 va ascendiendo la densidad de las rocas volviendo 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. Esta dada por termodinámica del proceso de cristalización y la composición del magma. 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 Mezcla de Magmas. La asimilación es la incorporación y digestión de un material preexistentes 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.

## 4.2 COMPOSICION QUIMICA 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.

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.

### 4.2.1 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 denomina de esta manera porque se encuentra 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 hecha para cationes y se asume que están acompañados por una apropiada cantidad de oxígeno. La suma de los óxidos debe de 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:

- $\text{SiO}_2$  (59.14%)
- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15.34%)
- $\text{CaO}$  (5.08%)
- $\text{Na}_2\text{O}$  (3.84%)
- $\text{FeO}$  (3.80%)
- $\text{MgO}$  (3.49%)
- $\text{K}_2\text{O}$  (3.13%)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3.08%)
- $\text{H}_2\text{O}$  (1.15%)
- $\text{TiO}_2$  (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  $\text{SiO}_2$ . 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 bivariante de Harker que muestra la variación del porcentaje en peso de los diferentes óxidos con respecto al porcentaje en peso de la sílice ( $\text{SiO}_2$ ). 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 suficiente 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 los 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 como por ejemplo el De la Roche (R1 vs R2).

## LITOLOGIA Y LITOGEOQUIMICA.

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

Con el fin de evitar la crítica 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 del peso del óxido (%) se divide por el peso equivalente del óxido ajustado a un catión y se expresa de 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 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 milcationes.

Los resultados se representan en un gráfico de dos variables XY utilizando parámetros R1 y R2. R1 se traza a lo largo del eje X Y se define como:

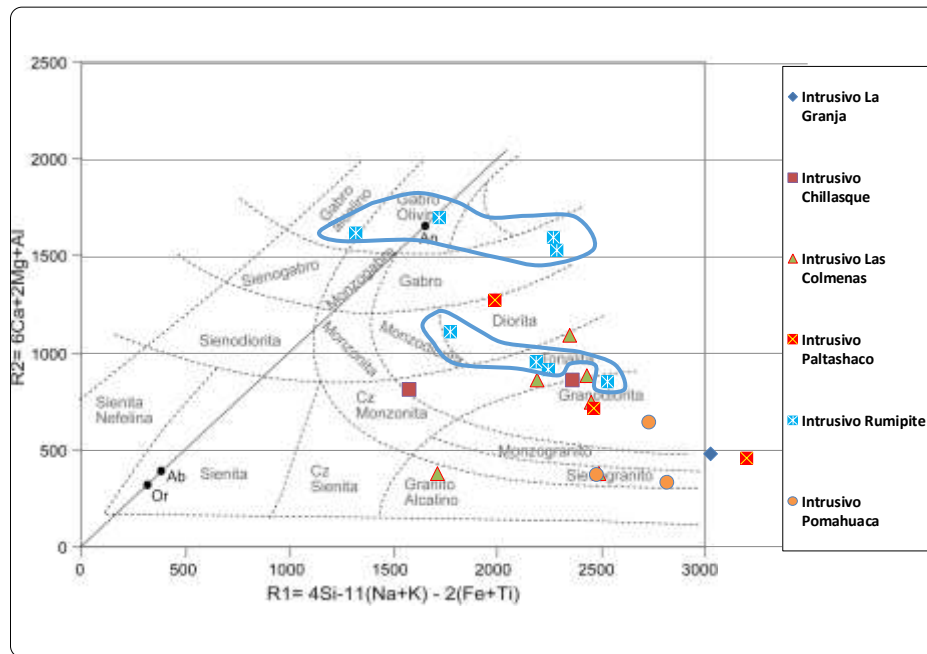
$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]$$

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. Las composiciones 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.



**Figura N° 11 :** Diagrama de R1 vs R2<sup>19</sup>  
(De la Roche et al, 1980), para los intrusivos del segmento de estudio.

En el diagrama se realizó el ploteo de las muestras y se puede observar que los 6 intrusivos, muestran una composición básica a intermedia.

- Intrusivo La Granja se registra en el límite, con una debil variación entre Monzogranito y granodiorita.
- Intrusivo Chillasque se registra en el rango de tonalita, con variaciones en una de ellas, alto contenido de cuarzo en porcentaje a comparación de la otra muestra.
- Intrusivo Las Colmenas, registra dentro tonalitas, granodioritas y sienogranito.
- Intrusivo Paltashaco, registra dentro de diorita y granodioritas.
- Intrusivo Rumipite, se han definido como dos grupos de rocas. Un primer grupo de rocas que varia de dioritas, tonalita, granodiorita y un segundo grupo que varia de gabro alcalino, gabro olivino y gabros probablemente por una diferaciación de magmas y enriquecimiento de magnesio y aluminio (Mg, Al).
- Intrusivo Pomahuaca, registra una roca sienogranito, granodiorita.

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

Es de gran utilidad y practica puesto que no hay otra clasificación química simple para este tipo de rocas. Sin embargo, los limites se basan en gran medida de una versión anterior que TAS ideo para las rocas volcánicas por (Cox et al, 1979) y por lo tanto no son consistentes con los limites del diagrama TAS.

La data de este diagrama es tomada directamente de un análisis de rocas como óxidos en (wt%) y ploteado dentro del diagrama de clasificación.

El diagrama TAS divide rocas por su contenido de sílice en ultrabasicas ( $\text{SiO}_2$  menor de 45%), básicas ( $\text{SiO}_2$  de 45 a 52%), intermedias ( $\text{SiO}_2$  de 52 a 60%) y acidas ( $\text{SiO}_2$  mayor

<sup>19</sup> Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Al: Aluminio.



de 66%) siguiendo el uso de (Peccerillo & Taylor, 1976). La rutina del cálculo según (Cox et al, 1979) es el siguiente:

- Selección de rocas frescas y se consideran que tienen  $H_2O^+ < 2\%$  y  $CO_2 < 0.5\%$ .
- 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 ultimo, 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):

**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.

**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 acidas (riolitas y granitos). Esta es típica de zonas de intraplaca, principalmente de la mayoría de islas volcánicas.

**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).

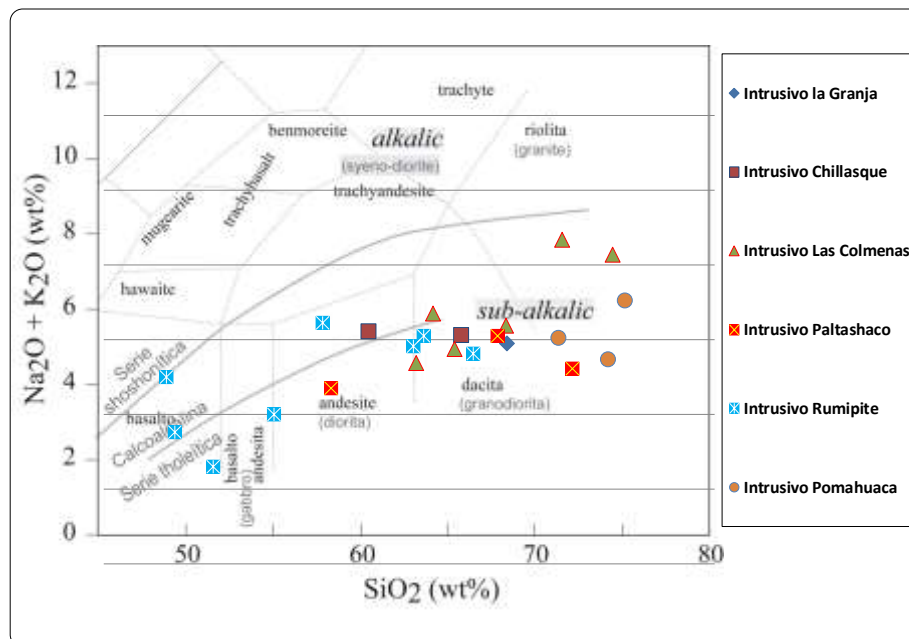


Figura N° 12 : Diagrama de TAS-Total Álcalis vs Sílice<sup>20</sup> (Le Maitre et al, 2002).

<sup>20</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de Silicio, K<sub>2</sub>O: Oxido de Potasio, Na<sub>2</sub>O: Oxido de Sodio.

En la figura las rocas de la zona de estudio presentan una concentración de sílice aproximada entre 48 a 75 %, reconociéndose facies de transición que se encuentran en la serie sub-alcalina.

- Intrusivo La Granja, pertenece a la serie tholeítica, se ha reconocido una facie litológica de granodiorita con su equivalente volcánico de dacita, a su vez por el contenido de sílice, tiene una composición intermedia.
- Intrusivo Chillasque, pertenece con una serie calcoalcalina y una serie tholeítica, se ha reconocido dos facies litológicas una que es de andesita (diorita), dacita (diorita).
- Intrusivo Las Colmenas, caen dentro del campo sub-alcalina, pertenecen a la serie tholeítica y calcoalcalina, rocas que van de intermedias a ácidas, por una mínima diferencia conteniendo de Na y K de 6 a 8 % y una concentración aproximada de sílice de 62 a 46%. Se reconocieron facies de dacita (granodiorita) y granito (riolita).
- Intrusivo Paltashaco, caen dentro del campo de la serie tholeítica, se reconocieron facies de rocas que van desde andesita (diorita), dacita (granodiorita), con una variación de sílice 68 a 74 %. Con una leve tendencia a ácida.
- Intrusivo Rumipite, caen dentro del campo de las series calcoalcalina, tholeítica, rocas que van de ultrabásicas a intermedias, a su vez se reconocieron facies de rocas, basalto (andesita), andesita (diorita) y dacita (granodiorita).
- Intrusivo Pomahuaca, caen dentro del campo de la serie tholeítica que van con una tendencia leve de intermedias a ácidas, se reconocen facies con tendencia que van de dacita (granodiorita) a riolita por una diferenciación magmática marcada.

Es importante mencionar la evolución clara de las facies.

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

El siguiente componente en importancia de las rocas 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 en un exceso o carencia de  $Al_2O_3$  con respecto a esta relación se refleja en la naturaleza de los ferromagnesianos (Rivera, 2007).

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

- Rocas Peraluminicas ( $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$ ): Son características de las rocas plutónicas con alto contenido de sílice y de las pegmatitas formadas a bajas temperaturas.
- Rocas Metaluminicas ( $CaO + Na_2O + K_2O > Al_2O_3 > Na_2O + K_2O$ ): Son rocas que contienen minerales que se forman a temperaturas relativamente bajas en presencia de agua.
- Rocas Subalcalinas ( $Al_2O_3 = Na_2O + K_2O$ ): Estas rocas provienen de las últimas etapas de la cristalización de los magmas ricos en sodio, cuando el magma residual es fuertemente alcalino.
- Rocas Peralcalinas ( $Al_2O_3 = Na_2O + K_2O$ ): Estas rocas provienen de las últimas etapas de la cristalización de los magmas ricos en sodio, cuando el magma residual es fuertemente alcalino.

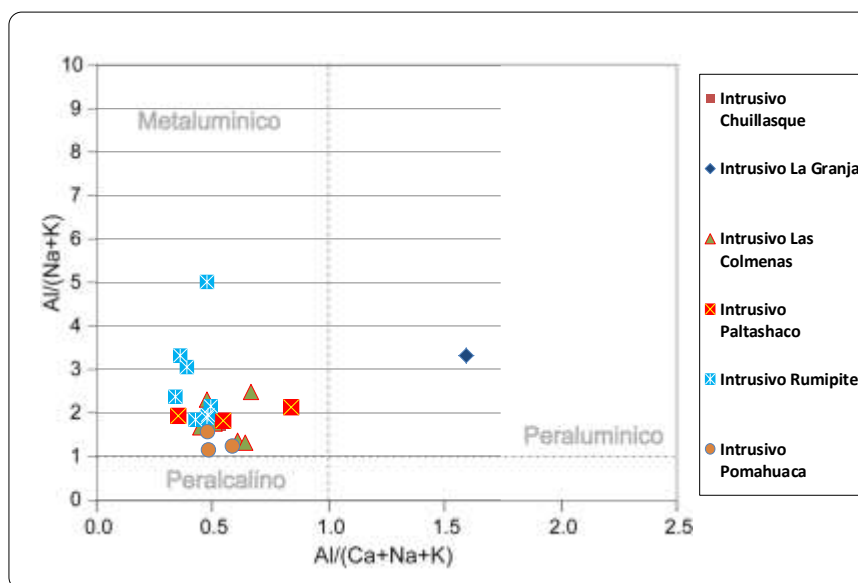


Figura N° 13 : Diagrama de Índice de saturación de alúmina (Shand, 1968).<sup>21</sup>

Según la figura se puede observar que las muestras de los intrusivos Chuillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite, Pomahuaca, en estudio corresponden a rocas metaluminicas lo que indica que ha habido circulación de fluidos hidrotermales en rocas (en este caso intrusivas ricas en SiO<sub>2</sub>), cuyos minerales se forman en bajas temperaturas.

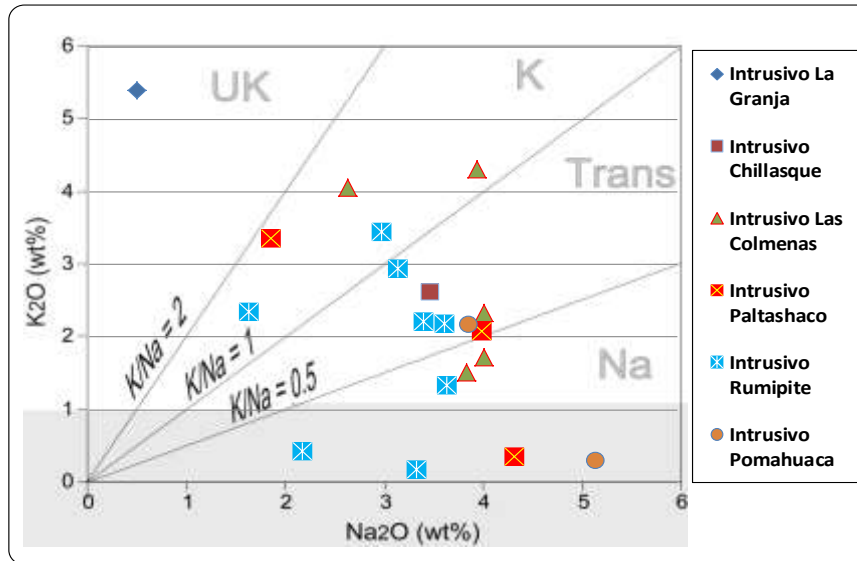
Es importante mencionar que excepto el intrusivo La Granja que tiende a peraluminico.

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

Este diagrama muestra el enriquecimiento de feldespatos potásico y las plagioclasas al comparar las abundancias entre Na<sub>2</sub>O vs K<sub>2</sub>O 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 ultrapotasicas.

<sup>21</sup> Al: Aluminio, Na: Sodio, K: Potasio, Ca: Calcio.



**Figura N° 14 :** Diagrama de Cristalización de Feldespatos<sup>22</sup>  
por Enriquecimiento de Na-K, (Peccerillo & Taylor, 1976; modificado por Le Maitre, 1989).

Como se puede observar en la figura. Nos indica que las rocas del Intrusivo La Granja se encuentra en el rango de ultrapotásica, y es corroborado en campo por la alteración potásica que presenta unidad minera con el mismo nombre, mientras el intrusivo Chillasque se encuentra dentro del rango de composición transicional por la presencia mínima de plagioclasas, en tanto los intrusivo Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite, están en los rangos de composición potásica-transicional-sódica, por la presencia de plagioclasas en cuantitativamente creciente y por último el intrusivo Pomahuaca se encuentra en el rango de transicional a sódica, por el alto contenido de plagioclasas.

#### **E. Diagrama Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989).**

Este diagrama  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  muestra la subdivisión de las rocas subalcalinas baja en potasio (toleítico), cantidad media en potasio (calcoalcalina medio K) y alto contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  (calcoalcalina de alto potasio) y el intervalo de medio - alto en potasio, dicho anteriormente por la presencia de alteración potásica.

Las rocas del intrusivo La Granja, son de composición ácida básicamente con un contenido alto potasio.

Tal cual podemos observar en la figura que nos indica que la roca del intrusivo Chillasque, son de composición intermedia a ácida con 50% de contenido de potasio (calco-alcalino), en tanto los intrusivo Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite muestran una evolución de enriquecimiento marcada en el contenido de potasio (tholeítico a calcoalcalino), están en función del rango que van de básicos a ácidos.

<sup>22</sup>  $\text{K}_2\text{O}$ : Oxido de Potasio,  $\text{Na}_2\text{O}$ : Oxido de Sodio. (Wt%): peso en porcentajes.



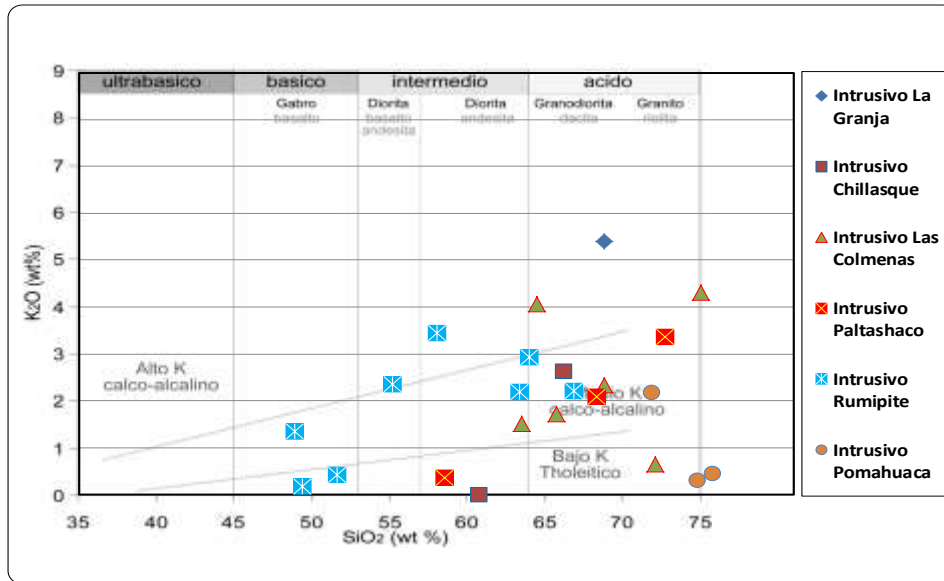


Figura N° 15 : Diagrama de Enriquecimiento de K (Ringwood, 1989).<sup>23</sup>

**F. Diagrama de Determinación del contenido de FeO total.**

El contenido de FeO total es mayor a medida que el magma es mas profundo, por ende, a mayor contenido de SiO<sub>2</sub> nos indica el grado de diferenciación y menor profundidad. Para determinar que magma es mas profundo con respecto a otro, se usa el diagrama de correlación binaria de FeO total vs SiO<sub>2</sub> (wt%).

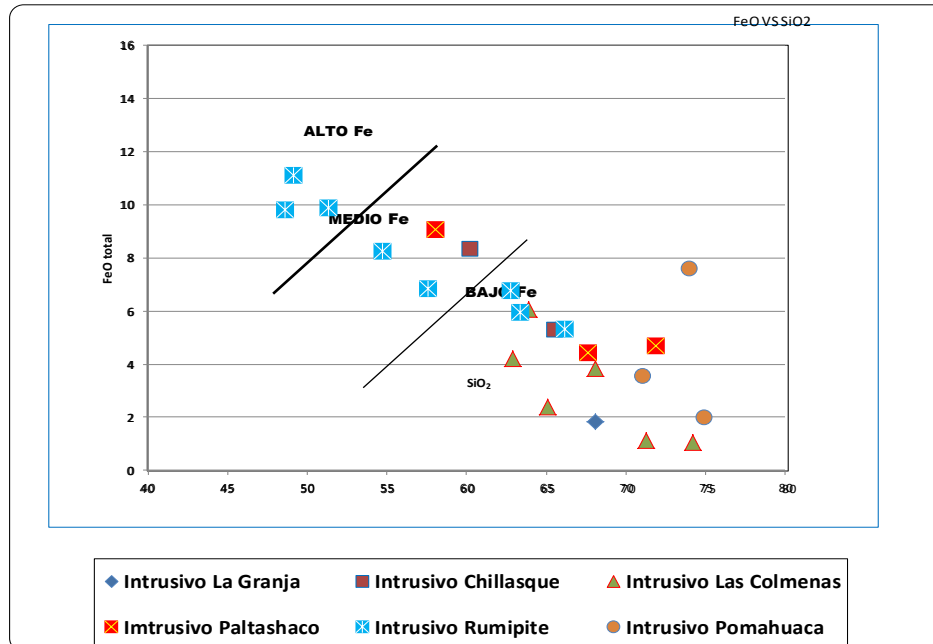


Figura N° 16 : Diagrama de SiO<sub>2</sub> vs FeO total.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de Silicio, K<sub>2</sub>O: Oxido de Potasio, (Wt%): peso en porcentajes.

<sup>24</sup>FeO: Oxido de Hierro.

Es importante mencionar que el intrusivo La Granja tiene un contenido bajo de Fe, lo cual es normal puesto que la mineralización de la unidad minera del mismo nombre es de Cu, en las etapas de enriquecimiento secundario y sulfuros con lagunas zonas de oxidación, en tanto los intrusivos. Las Colmenas, Pomahuaca se encuentran bajo en Fe, en cuanto a los intrusivos Paltashaco, Chillasque en enriquecimiento tienden a un aumento progresivo de bajo a medio en Fe y el intrusivo Rumipite las muestras contienen una variación en distintas zonas de bajo-medio-alto en Fe.

Teniendo los datos petrográficos, geoquímica y demás como los datos obtenidos en campo podemos definir entonces el intrusivo Rumipite tiene tres tipos de facies litológicas; una facie gabro alcalino, olivino, tolita-diorita y granodiorita, en tanto el intrusivo La Granja se encuentra bajo en Monzogranítico bajo de 1.8 de FeO y alto en SiO<sub>2</sub>, Intrusivo Chillasque muestra valores de bajo a medio de FeO y valores de 65-70% de SiO<sub>2</sub>, roca de facie tonalítica, peralcalinas lo que las posiciona de ultrabásicas a ácidas.

Por su contenido de alumina se presentan como roca metaluminicas y por su contenido variable de potasio son sódicas a ultra potásicas, con un contenido en Fe relacionado a la presencia de elementos siderófilos en proporciones variables. (Ver mapa de distribución de muestras de roca total en el área de estudio, 1-10).

### G. Diagramas de Harker.

Los Diagramas de variación son usados con diferentes propósitos en petrología, tienen la ventaja de ser 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<sub>2</sub> (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 químicamente y mineralógicamente distintas, aunque genéticamente relacionadas. (Arana, 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 realizar cálculos complicados (Rollinson, 1993). (La Roche, 1964) indica que estos diagramas deben reservarse para el estudio de rocas ígneas muy diferenciadas.

**SiO<sub>2</sub> vs TiO<sub>2</sub>:** Las muestras presentan una correlación negativa muestra en la (Diagrama A), asociadas en su mayoría a una fracción en esfena, 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 el intrusivo La Granja presenta concentración de TiO<sub>2</sub> 0.5 a 2.5 8wt%), con un aumento porcentual lo que nos indica que 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). A diferencia de los demás intrusivos presentan contenido en un rango de variación de 0.2 a 1 (wt%) de TiO<sub>2</sub> con un aumento porcentual en sílice.

**SiO<sub>2</sub> vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** La Alumina varía entre 10 y 25% (Rivera, 2007), en la (Diagrama B), las muestras presentan correlación negativa donde se produce la fraccionación de plagioclasas, las que pertenecen al intrusivo Rumipite, La Granja, Las Colmenas se

encuentra dispersas con contenidos variables cuya concentración esta entre 14 a 22 (wt%). Mientas del resto de intrusivos están mas concentradas entre 14 a 17 (wt%). La concentración media indica que las rocas presentan una composición intermedia básicamente.

**SiO<sub>2</sub> vs MnO:** (Diagrama C), Indica la fraccionación del feldespatos, los intrusivos en estudio muestran una correlación negativa.

El manganeso se encuentra asociado al Fe en sus propiedades químicas (Rankama, 1954) lo que evidencia para el intrusivos Rumipite, Paltashaco, Chillasque y Las Colmenas un mayor contenido de MnO (0.05 A 0.23 wt%) a diferencia de los intrusivos Pomahuaca, La Granja que presentan una concentración de (0.02 a 0.08 wt%).

**SiO<sub>2</sub> vs MgO:** La mayoría de las rocas presentan un nivel bajo en MgO (Diagrama D) y en consecuencia son menores al 20% (Rivera, 2007). Se nota una correlación negativa respecto al contenido de SiO<sub>2</sub>, en donde las muestras de los intrusivos Rumipite, Paltashaco, Chillasque, Las Colmenas tienen un promedio de 4 (wt%) y las muestras de La Granja, Pomahuaca presentan un contenido promedio de 1 (wt%). (Rankama, 1954) indica que el magnesio junto con el hierro ferroso, es el catión más importante de que se incorpora a los minerales maficos durante el estadio de la cristalización, es por esta razón que los encontramos en mayor porcentaje en los intrusivos Rumipite, Paltashaco, Chillasque, Las Colmenas.

**SiO<sub>2</sub> vs CaO:** Se puede observar en la (Diagrama E), 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 acidos.

Las rocas de los intrusivos Rumipite, Paltashaco, Chillasque y Las Colmenas tienen un contenido promedio de CaO de 4.5 (wt%), a diferencia de los intrusivos Pomahuaca, La Granja que presentan una concentración de CaO de 1 (wt%).

**SiO<sub>2</sub> vs Na<sub>2</sub>O:** Este oxido presenta una correlación lineal positiva, los valores de los intrusivos Rumipite, Pomahuaca, Chillasque y Las Colmenas se encuentran en el promedio de 3.5 (wt%).

Para La Granja y Paltashaco 2 (wt%). El relativo incremento de este oxido es debido a que no es incorporado en el proceso de fraccionación en la estructura mineralógica en de los primeros minerales que cristalizan si no mas bien en el proceso de cristalización de las plagioclasas (Choquehuanca, 2014).

La abundante presencia de Na<sub>2</sub>O puede ser debido básicamente a la presencia de alteraciones hidrotermales en el sistema mineralógico.

#### 4.2.2 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 Traza pueden ser utilizadas para estudiar la evolución de los magmas, ayudando a establecer el origen de los mismos 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 mas importantes.

Cuando el manto terrestre es fundido, los elementos traza pueden mostrar preferencia por la fase liquida (fundido) o la fase solida (mineral) a los cuales se les llama elementos compatibles e incompatibles, respectivamente. (Rollinson, 1993; White, 2007).

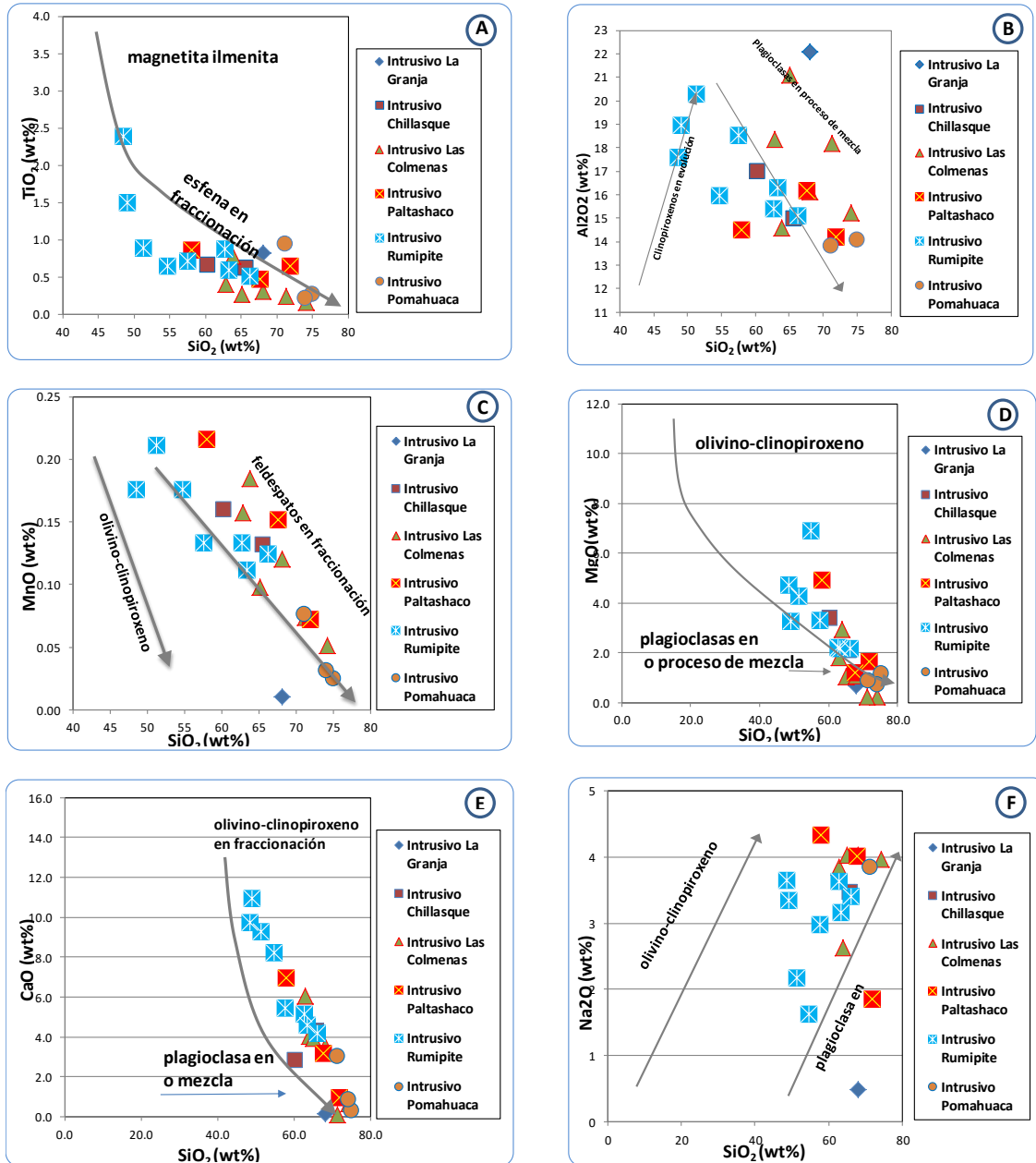


Figura N° 17 : Diagrama Harker <sup>25</sup>  
Para los intrusivos involucrados en la zona de estudio.

<sup>25</sup> SiO<sub>2</sub>: Oxido de Silicio, K<sub>2</sub>O: Oxido de Potasio, Na<sub>2</sub>O: Oxido de Sodio, Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Oxido de Titanio, CaO: Oxido de Calcio, Mg<sub>2</sub>O: Oxido de Magnesio, Mn<sub>2</sub>O: Oxido de Manganeso.



## GEOCROLOGIA

### 4.2.3 TIERRAS RARAS (REE)

Las tierras raras son los óxidos básicos de los elementos del grupo de los Lantanidos. Comprenden un grupo de 15 elementos: Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Prometio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disprobio (Dy), Holmio (Ho), Erblio (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 Litológicas (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 disprobio (66) al lutecio (71).

El comportamiento de las Tierras Raras es litofilo, por lo que comúnmente se presentan formando sales oxigenadas, principalmente fluor 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 (Vásquez, 2009).

En tanto (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 en 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, por que 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 puedan encontrarse en concentrados en el fundido (Vásquez, 2009).

**Tabla N° 15 :** Características químicas de las Tierras Raras (Tomado de Rivera, 2001).

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

Se supone que las abundancias de las Tierras Raras en los meteoritos (condritos), presentan el material primitivo del Sistema Solar, deben ser iguales a las que había en la Tierra primitiva.

Estas abundancias se abrían 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 tanto mayor cuando menos sea la proporción del fundido (Rivera, 2007).

### 4.3 ELEMENTOS COMPATIBLE 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 de los minerales. Estas son las tierras raras Th, Y, Zr, Hf, Nb y Ta (Perce, 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, los que hace que sean 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 tienen al La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Los metales de transición Mn, Zn y Cu tienden hacer 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 procesos magmáticos. La distribución de los elementos traza entre las fases puede ser descritas 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:

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

Donde:  $K_d$  es el coeficiente de distribución de Nernst; 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 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).

**Tabla N° 16 :** Cuadro de Elementos Mayores y Trazas <sup>26</sup> que se concentran comúnmente en algunos minerales.

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

<sup>26</sup> Ca: Calcio, Na: Sodio, K: Potasio, Mg: magnesio, Al: Aluminio, Si: Silicio, Mn: Manganeso, F: Fluor, S: Azufre, Sr: Estroncio, Ba: Bario, C: Carbono, Cl: Cloro, Cr: Cromo, Zr: Zirconio, Rb: rubidio, V: Vanadio, Ni: Niquel, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Sn: Estaño, B: Boro, Yb: iridio, Er: Erbio, Br: Bromo, Ge: Germanio, Be: Berilio, As: Arsenico, U: Uranio, Ta: Tántalo, W: wolframio, Mo: molibdeno, Cs: Cesio, Ho: Olmio, Eu: Europio, Tb: Terbio, Lu: Lutecio, Hg: Mercurio, I: Yodo, Sb: Bismuto.

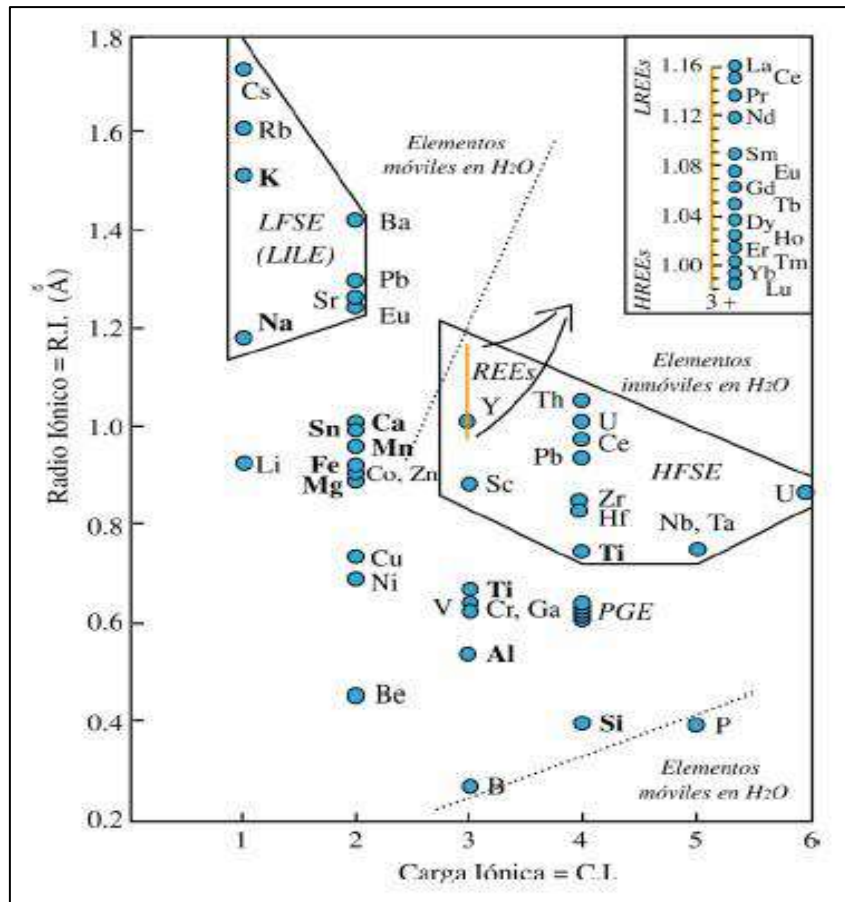


Figura N° 18 : Distribución de Elementos Mayores y Trazas.<sup>27</sup>

**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 ploteado en escalara logarítmica, con el fin de determinar el origen de las rocas ígneas si son de arco volcánico, de intraplacas y de dorsal oceánica (Quispe & Rivera, 2013).

Cabe resaltar que como referencia teorica de acuerdo al engrosamiento cortical y presión litosferica se determino que se distinguen dos grupos:

- Valores altos de Nb, indican el grupo de las rocas que afloran hacia el oeste del área, están menos contaminadas.
- Valores bajos de Nb, indican que el grupo de rocas que afloran hacia el este del área están más contaminadas.
- Se confirma que las rocas estudiadas de los intrusivos proceden de los arcos volcánicos de los Andes.

<sup>27</sup> LFSE (LILE): Los elementos de baja carga y gran radio iónico, HFSE: Elementos de Alto Potencial Iónico, REEs: Tierras Raras.



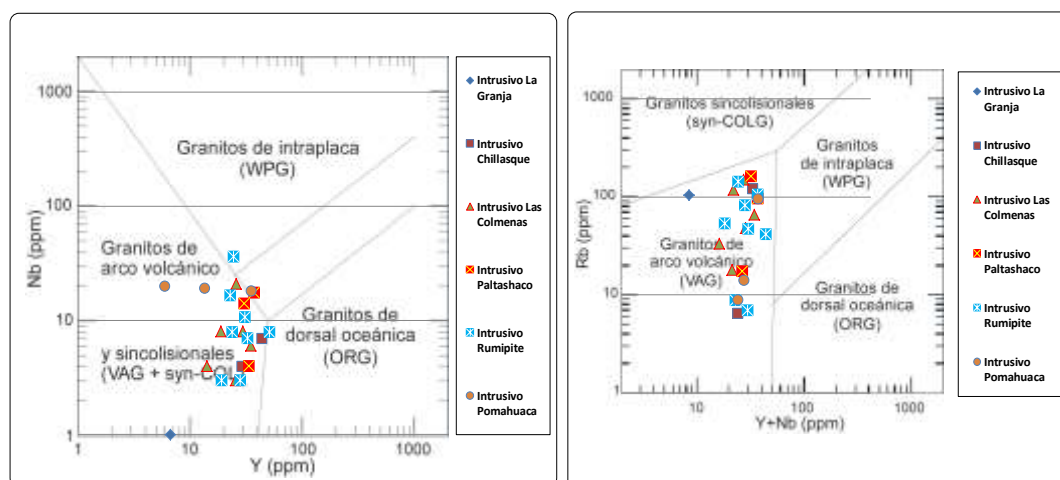


Figura N° 19 : Diagrama de Origen de los granitos Y vs Nb.<sup>28</sup> (Quispe & Rivera, 2013).

### B. Diagrama de variación Rb vs V.

Mediante este diagrama podemos determinar los diferentes procesos magmáticos y petrogenéticos que han ocurrido en estos cuerpos plutónicos.

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. (Fenandez & Hernandez, 1991), indican que algunos autores usan elementos como Ti, Zr, Y, Nb, etc. Por que estos aparecen en proporciones diferentes en las distintas series volcánicas.

Podemos observar entonces (Figura N° 44) que las muestras se encuentran en tendencia al proceso de fusión parcial para los intrusivos Rumipite, Chillasque y Cristalización Fraccionada para los Intrusivos La Granja, Paltashaco, Las Colmenas, Pomahuaca. (Schiebold, 1931) indica que el rubidio (Rb) se encuentra casi siempre en los feldespatos potásicos, he de allí que podemos inferir por que presenta la tendencia horizontal positiva en ppm (en aumento).

El vanadio (V) varia sus concentraciones entre 80 a 250 (ppm), para los cuerpos intrusivos La Granja, Paltashaco y de 50 a 100, los intrusivos Chillasque, Las Colmenas, Rumipite, Pomahuaca, mientras que para el rubidio (Rb), las concentraciones varían entre 20 a 80 (ppm) y entre 25 a 190 (ppm) para los intrusivos Paltashaco y Rumipite.

<sup>28</sup> Nb: Niobio, Y: Itrio, Rb: Rubidio.

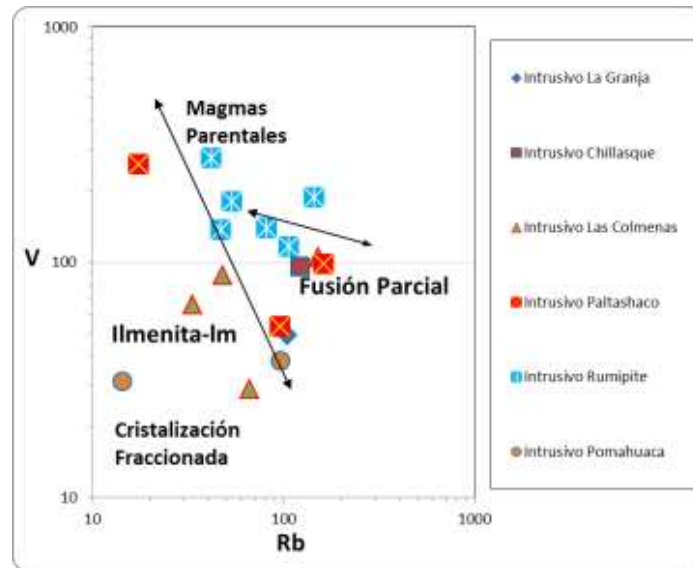


Figura N° 20 : Diagrama de variación Rb vs V<sup>29</sup>(Quispe & Rivera, 2013).

**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 con los 06 cuerpos ígneos de nuestra zona de estudio. En este diagrama usamos los valores en (ppm), sin normalizar. La figura siguiente indica la tendencia de las muestras hacia el proceso de cristalización fraccionada para los intrusivos La Granja, Chillasque, Las Colmenas, Pomahuaca con valores promedios de Zr que varía entre 10 a 150 (ppm), a su vez hay una clara evolución de muestras del intrusivo Rumipite, Paltashaco, que van de cristalización fraccionada a fusión parcial llegando a magma parental, con valores promedios de Zr que varía entre 30 a 180 (ppm).

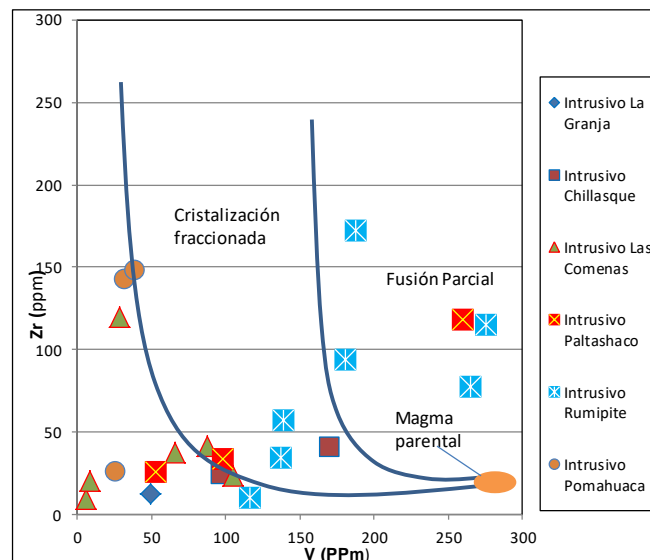


Figura N° 21 : Diagrama de variación V vs Zr.<sup>30</sup> (Quispe & Rivera, 2013).

29 V: Vanadio, Rb: Rubidio.

30 Zr: Zircon, V: Vanadio.

#### D. Diagramas de Razones de Elementos Traza.

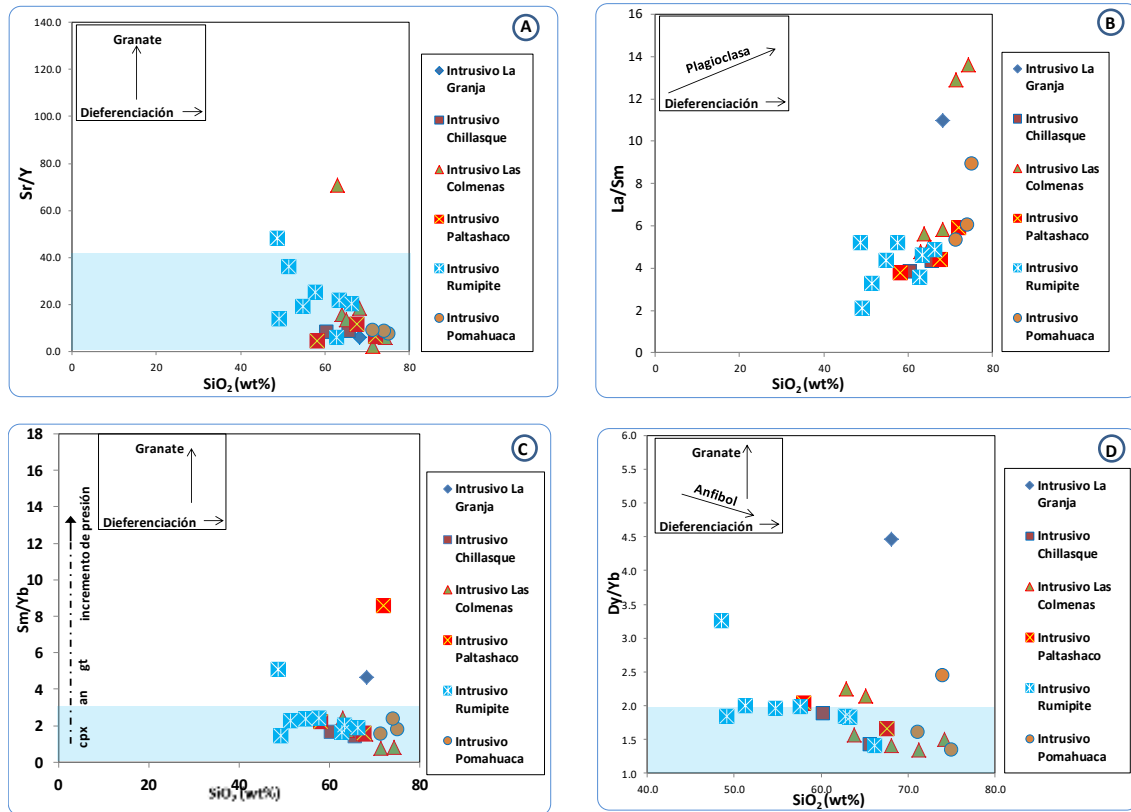
Por el grado de compatibilidad de los elementos traza en tierras raras ligeras y pesadas se realiza una comparación mediante razones geoquímicas para poder determinar procesos de cristalización y diferenciación de minerales como clinopiroxenos, anfíbol, plagioclasa y la presencia de granate residual en los 06 cuerpos ígneos del segmento Jaen – San Ignacio.

Podemos observar en el (Figura N° 46), la distribución de las concentraciones de elementos traza en base a las razones de Sr/Y, Sm/Yb, Dy/Yb vs SiO<sub>2</sub> (Mamani et al 2010). El intrusivo Rumipite tiene una concentración promedio de Sr/Y de 15 a 45 (wt%), con un aumento diferencial de SiO<sub>2</sub> paulatino, asu vez el intrusivo Las Colmenas presenta una concentración promedio de Sr/Y de 10 a 70 (wt%), y para los intrusivos La Granja, Chillasque, Paltashaco, Pomahuca tiene una concentración promedio de Sr/Y de 10 a 20 (wt%), con un aumento mínimo de SiO<sub>2</sub>, lo que indica la presencia de granate residual debido al aumento de presión (Diagrama, A).

La razón SiO<sub>2</sub> VS La/Sm muestra que las rocas de los intrusivos La Granja, Chillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite, Pomahuca son rocas diferenciadas y presentan valores altos de La/Sm, para los intrusivos Las Colmenas existe una concentración de La/Sm entre 6 a 14 wt% y de SiO<sub>2</sub> entre 65 a 75 (wt%), asu vez para el intrusivo La Granja existe una concentración de La/Sm entre 10 a 12 y de SiO<sub>2</sub> entre 60 a 70 (wt%), seguidamente para el intrusivo Pomahuca existe una concentración de La/Sm entre 5 a 9 (wt%), y de SiO<sub>2</sub> entre 70 a 75 (wt%), en tanto para los intrusivos Rumipite, Paltashaco, Chillasque existe una concentración de La/Sm entre 2 a 7 (wt%) y de SiO<sub>2</sub> entre 50 a 75 (wt%). Las muestras están siendo afectadas por la fraccionación de las plagioclasas (Diagrama, B).

Respecto a la razón SiO<sub>2</sub> vs Sm/Yb presentan valores bajos que indican la fraccionación de clinopiroxenos, excepto en el intrusivo La Granja que presenta concentraciones altas de Sm/Yb de 8 (wt%), el incremento diferenciado de granate, por ende, los demás intrusivos Chillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite, Pomahuca presentan concentraciones bajas de Sm/Yb de 3 (wt%) y concentraciones que tiene en general de SiO<sub>2</sub> de 45 a 75 (wt%). (Diagrama, C).

En el (Diagrama D), podemos observar que existe una pequeña tendencia hacia el aumento de granate. Las muestras del intrusivo La Granja presentan un contenido de 4.5 (wt%) de Dy/Yb, mientras los intrusivos Chillasque, Las Colmenas, Paltashaco, Rumipite, Pomahuca presentan concentraciones un promedio de 1 a 2.5 (wt%) y una ligera concentración de anfíbol.



**Figura N° 22 :** Diagramas de Razones de Elementos Traza Sr/y, La/Sm, Sm/Yb, Dy/Yb<sub>31</sub>, (Mamani et al, 2010). De los intrusivos en estudio del segmento de estudio.

**E. 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 del intrusivo La Granja, presentan de 5 a 6 de Ce/Y estos valores indican que el magma se ha formado en una corteza con espesor de 60 a 70 (Km) de profundidad, mientras que las rocas del intrusivo Chillasque de 1 a 2 de Ce/Y entre 20 a 30 (Km) ,de profundidad, Las Colmenas de 1.5 a 3 de Ce/Y entre 20 a 40 (Km), de profundidad, Paltashaco de 1.5 a 2.5 de Ce/Y entre 20 a 40 (Km), de profundidad, Rumipite de 0.5 a 4 de Ce/Y entre 10 a 40 (Km), de profundidad, Pomahuaca de 1.5 a 4 de Ce/Y entre 30 a 50 (Km), de profundidad.

31 Sr: Estroncio, Y: itrio, SiO<sub>2</sub>: Oxido de silicio, La: Lantano, Sm: Samario, Yb: Iterbio Dy: Disprosio.



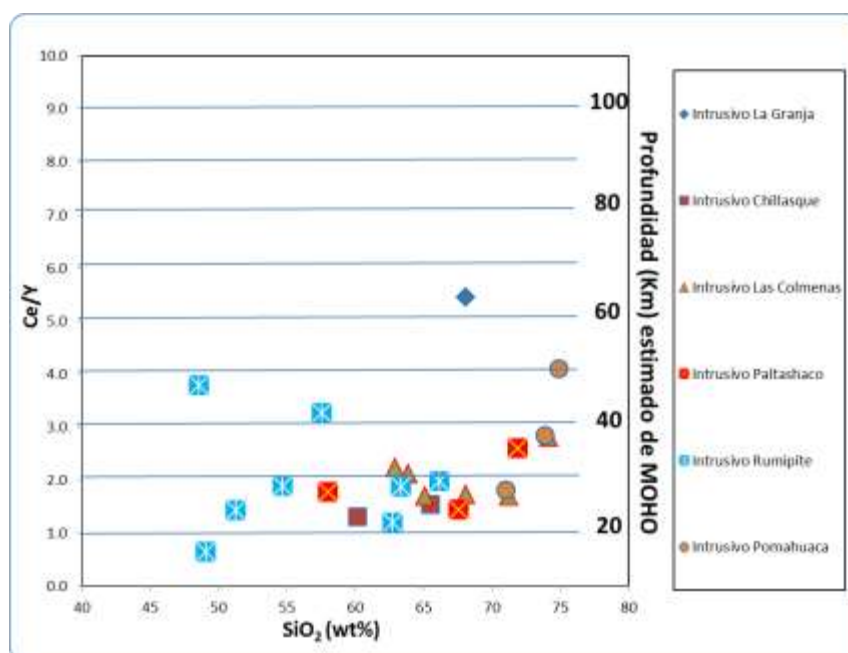


Figura N° 23 : Diagrama de Profundidad de Generación del Magma<sup>32</sup>  
(Mantle & Collins, 2008).

#### F. Diagrama de Concentraciones 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 segmento de estudio.

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-Harking (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 (Fernandez & Hernandez, 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 las variaciones 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 indentificados (Rollinson, 1993).

Hay tres formas populares de la normalización de los datos de elementos traza para su presentación como “diagramas 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).

<sup>32</sup> Ce: Cesio, Y: Itrio, SiO<sub>2</sub>: Oxido de silicio.

- 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.

### **G. 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 el (Figura N° 50), podemos reconocer seis tipos de curvas tendenciales, de los intrusivos Pomahuca, Rumipite, Paltashaco, Las Colmenas, Chillasque, La Granja, se observa un enriquecimiento en los elementos LILE y empobrecimiento de los elementos 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-liquido (Fernandez & Hernandez, 1991).

El intrusivo La Granja presenta valores de LILE altos (1 a 300) y bajos en HFSE ( $\geq 1$ ) mientras el intrusivo Chillasque valores de LILE altos (8 a 500) y bajos en HFSE (10 o  $< 20$ ), mientras que en los intrusivos Paltashaco, Rumipite, Las Colmenas, Pomahuaca presenta valores de LILE altos (10 a 1200) y bajos en HFSE ( $\geq 10$ ).

El intrusivo Pomahuaca presenta valores Rb, Ba, Th, U, Ta, LA, Ce, Sm, Hf, Eu, Gd, Dy, Ho y valores negativos en Th, Nb, Sr, Tb, Y, Er.

La anomalía de Nb nos indica asociadas al Ta y positivas al K, Rb, Th y U nos indican un típico marco tectónico de subducción (Martinez & Cervantes, 2003). En tanto (Wilson & Winter, 2001) indican que los valores de Nb mayores a uno ( $> 1$ ) evidencian contaminación cortical en los procesos magmáticos. De la misma manera se observa que existe la tendencia de variación en el Sr y Ba en mínima cantidad; estos elementos están asociados al K, el estroncio se encuentra en el Ba los feldespáticos potásicos se encuentran en cantidades significativas (Rinakama, 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.

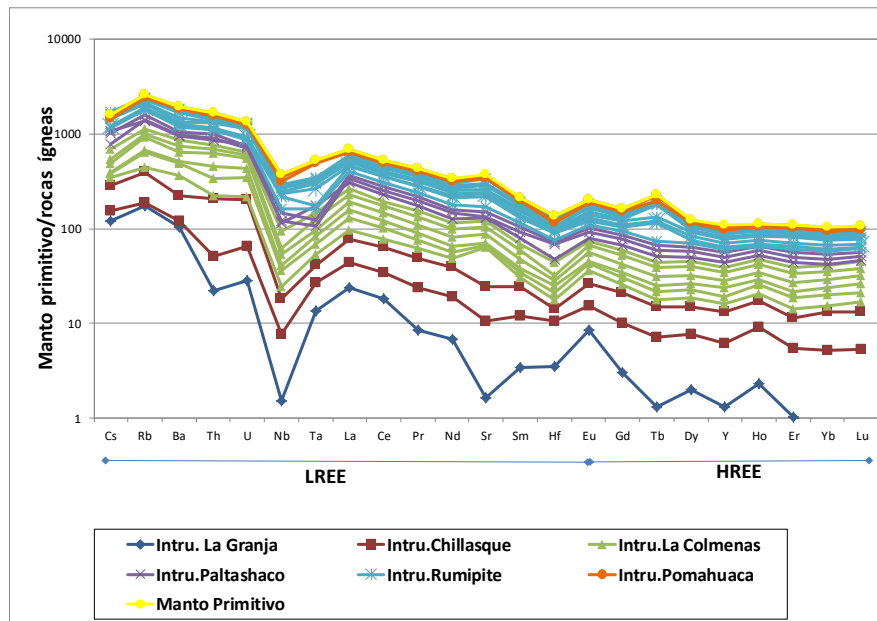


Figura N° 24: Diagrama de Manto Primitivo-Multielemental<sup>33</sup> adoptado de (McDonough & Sun, 1995).

**H. Diagrama de Normalización de Condritos - Diagrama de Tierras Raras.**

El patrón usado para la normalización fue un condrito a partir de datos seleccionados, normalizados (McDonough & Sun, 1989).

En la (Figura N°51), podemos observar que una de las características significativas es la pendiente que presentan las unidades intrusivas en estudio, 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 (Martinez & Cervantes, 2003). Las líneas del Intrusivo Pomahuaca tiene rangos de 500 a 3000 (líneas de concentración) que indica un alto enriquecimiento de tierras raras ligeras LREE. La disminución absoluta o relativa de algún elemento significa el fraccionamiento de las fases en las cuales puede haberse acumulado (Rivera, 2007).

Es así que se puede observar que existe una anomalía positiva de Eu, lo que indica que no hubo cristalización de plagioclasas y ha llegado un magma enriquecido en Eu (Fernandez & Hernandez, 1991).

En cuanto a los intrusivos Paltashaco, Las Colmenas tienen rangos de 700 a 1000 (líneas de concentración) que nos indica un alto enriquecimiento de tierras raras ligeras LREE. Mientras que las líneas del Intrusivo La Granja presentan líneas de concentración básicamente 200 a 10 indica enriquecimiento alto en LREE y concentración de HREE menores a  $\leq 10$ , lo cual me llevaría a decir que se debe al 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 (Martinez y Cervantes, 2003). Existe

<sup>33</sup> LREE: Tierras raras ligeras, HREE: Tierras raras pesadas.

anomalía de Eu, lo que podría indicar que este elemento pudo ser incorporado en la plagioclasa, y sin presencia de Oxidación Mantelica (Fernandez & Hernandez, 1991).

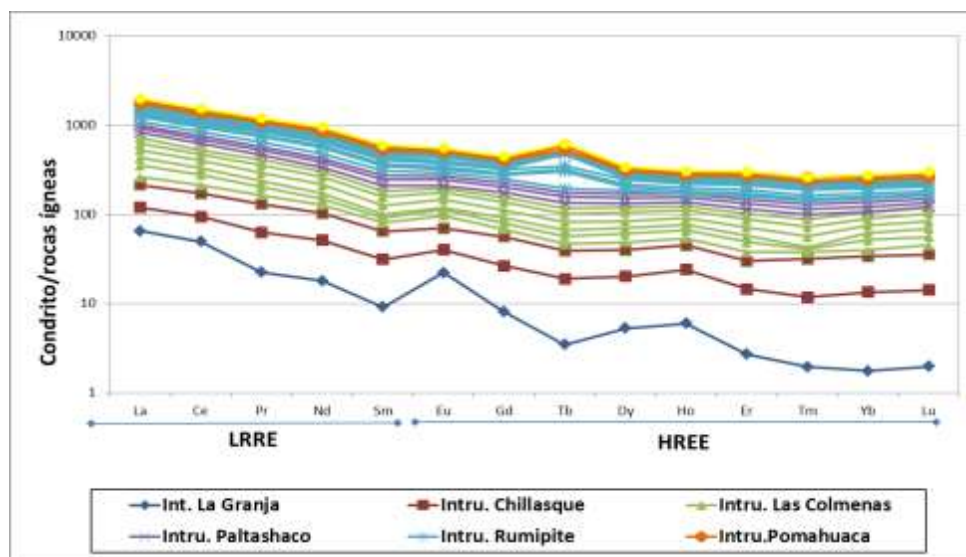


Figura N° 25 : Diagrama de Tierras Raras<sup>34</sup>  
(McDonough & Sun, 1989).

## MINERALIZACIÓN Y ZONACIÓN METALOGENETICA

### 4.4 OCURRENCIA DE MINERALES RELACIONADO A LA GEOQUIMICA DE ROCAS.

La composición de la corteza inferior varia con el engrosamiento cortical; cuando la corteza es mas delgada presenta una composición anfibolitica, en cambio cuando es mas gruesa presenta una composición eclogitica en la base y en la parte superior anfibolitica. La corteza anfibolitica tiene como mineral principal a la hornblenda, la se caracteriza por tener alto contenido de agua en su composición (Kay & Mpodozis, 2000). Los magmas que atraviesan la corteza anfibolitica son capaces de trasportar metales y/o fluidos mineralizantes.

Posteriormente cuando la corteza llega a tener espesor mayor a 45 (Km), la composición llega a ser eclogitica presentando granate y piroxenos, los magmas que atraviesan tendrán mas granate que anfíbol, el granate no favorece a la formación de depósitos puesto que son magmas con bajo contenido de agua, es decir los magmas son secos.

#### A. Diagrama de Proveniencia del Magma Ce vs Ce/Y.

La Figura N°52, muestra el diagrama de la razón Ce vs Ce/Y (elemento compatible con un elemento incompatible), teniendo en cuenta que el Y actua como elemento inmóvil (Choquehuanca, 2014), indica que la muestra del intrusivo La Granja básicamente proceden de la fusión parcial, las muestras del intrusivo Chillasque, proceden de fusión parcial a cristalización fraccionada con una minima presencia de granate residual, en tanto el intrusivo Las Colmenas proceden de fusión anfibolitica, a su vez el intrusivo Paltashaco

34 LREE: Tierras raras ligeras, HREE: Tierras raras pesadas.



nos indican que proceden de cristalización fraccionada, teniendo como mineral residual al granate en un porcentaje considerable, el intrusivo Rumipite procede de una cristalización fraccionada con una tendencia a fusión anfibolítica mínima presencia de granate como mineral residual y el intrusivo Pomahuaca las muestras engloban fusión eclogítica, fusión parcial y cristalización fraccionada teniendo como mineral residual al granate.

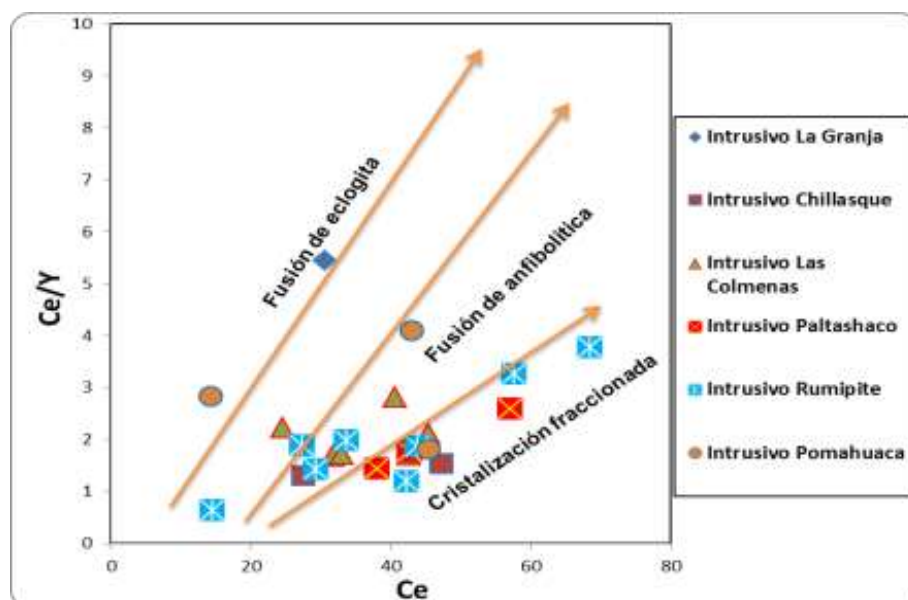


Figura N° 26 : Diagrama de Proveniencia del Magma Ce vs Ce/Y.<sup>35</sup> (Quispe & Rivera, 2013).

### B. Diagrama de Tipo de Magma Sr/Y vs Eu/Eu\*.

La Figura N°53, de anomalías Sr/Y vs Eu/Eu\*, sirve de la misma manera para la identificación de procesos y la historia del fraccionamiento del magma, es así que, para los intrusivos La Granja, Rumipite, Las Colmenas, Paltashaco presentan valores de 1.25 o (<1.25) en razón al contenido de Eu/Eu\* con tendencia de fraccionación de plagioclasas, fraccionación de granate y leve fraccionación de hornblenda que caen al rango de los magmas húmedos que si son favorables para la mineralización.

Algunas muestras de los intrusivos Chillasque, Pomahuaca presentan valores de 1 o (<1) y fraccionamiento de granate, que caen en el campo de magmas secos, no son favorables para la mineralización se asume que estas muestras estén alteradas.

<sup>35</sup> Ce: Cesio, Y: Itrio.

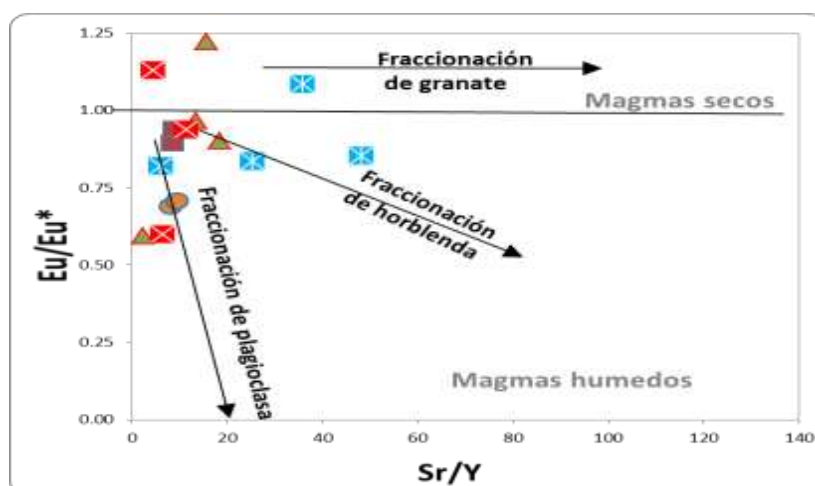


Figura N° 27 : Diagrama de Tipo de Magma Sr/Y vs Eu/Eu\*.<sup>36</sup>  
Adaptado de (Choquehuanca, 2014)

### C. Diagrama de Oxidación vs El Contenido de agua Eu/Eu\* vs FeO total.

La Figura N° 54, nos muestra el diagrama de estado de oxidación y el contenido de agua que asu 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 ensamblajes metálicos (Choquehuanca, 2014).

Se puede determinar entonces que el Intrusivo La Granja, esta mas asociada a la presencia de yacimiento de Cu-Au, mientras el intrusivo Chillasque esta asociada a yacimiento Cu-Au, Cu-Zn-Pb (Ag), intrusivo Las Colmenas, se puede apreciar que esta mas asociada con yacimiento de Mo-Zn-Pb, en tanto el intrusivo Paltashaco esta asociada a dos tipos de yacimiento Cu-Mo, Cu-Zn-Pb(Ag), asu vez el intrusivo Rumipite esta mas asociada a dos tipos de yacimiento Cu- Au, Fe-Au-Cu y el intrusivo Pomahuaca esta asociada mas asociada a la presencia de yacimiento Mo.

<sup>36</sup> Eu: Europio, Sr: Estroncio, Y: Itrio.

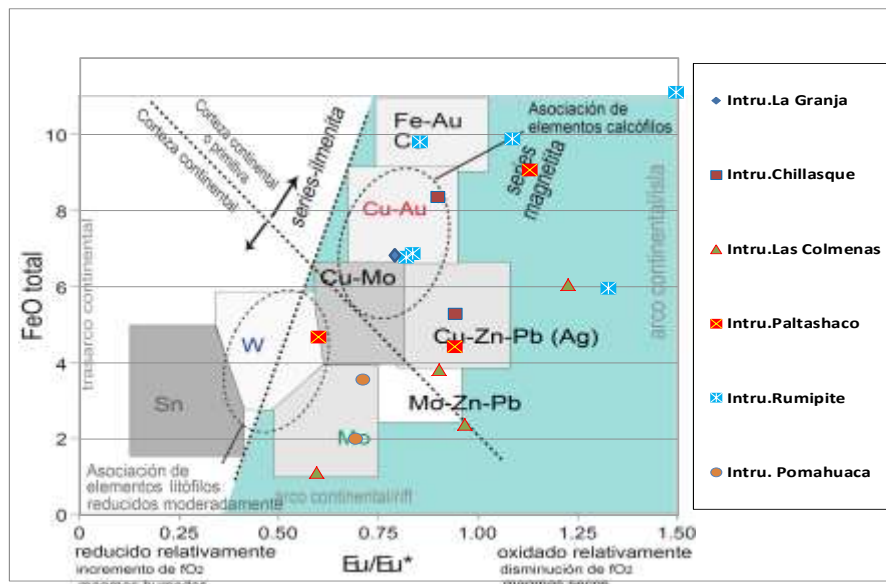


Figura N° 28 : Diagrama de Oxidación vs el contenido de agua  $Eu/Eu^*$  vs FeO total.<sup>37</sup>

## 4.5 GEOLOGIA ECONOMICA

### Controles de la Mineralización.

En la zona de estudio se desarrolla una intensa actividad exploratoria, prospectiva básicamente aurífera, cuprífera y polimetálica, siendo de interés económico mundial por los procesos geológicos ocurridos y unidades mineras ubicadas en esta zona norte del Perú.

INGEMMET actualmente desarrolla trabajos prospectivos denominados ANAPS (Áreas de No Admisión de Denuncias Mineras), se ubica unos interesantes prospectos metálicos en los que se bienen ejecutando diferentes estudios a escala regional y local, con el objetivo de actualizar el mapa metalogenético del Perú, cuyos avances han sido empleados en la elaboración del presente capítulo.

### Generalidades.

Es primordial mencionar que en la presente década de acuerdo al conocimiento de nuevos modelos genéticos y el uso de técnicas modernas se viene prospectando el área Norte del país para detectar depósitos de interés económico que compensen su baja ley con un gran volumen.

Uno de los métodos de exploración utilizados es la geoquímica, de gran importancia en la detección de mineralización y zonas anómalas, especialmente en áreas boscosas con gran cobertura de suelos y vegetación. Otro de los parámetros utilizados consistió en la definición de los principales metalotectos, los cuales es términos generales son:

- El bloque metamórfico de Aramango con minerales metálicos económicos como Au, incluido en vetas y venillas de cuarzo.

<sup>37</sup> FeO: Oxido de Hierro, Eu: Europio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno, Sn: Estaño, W: Wolframio.

- Los calcáreos Pucara con evidencias de mineralización polimetálicas de tipo sedimentario.
- Las secuencias volcánicas Oyotún, metalotecto en el que INGEMMET ha detectado yacimientos metálicos importantes como las Huaquillas y Hualatán dentro del área de estudio y las áreas anómalas de La Colpa detectadas en las inmediaciones de los caseríos Botijas y Peringos (SE de San Ignacio), Nuevo Trujillo, Selva Andina y Torre de Babel, ubicadas en las ANAPS (Áreas de No Admisión de Denuncios Mineros) San Ignacio I, II, III.

Es importante destacar la presencia de placeres auríferos de explotación muy restringida, que se encuentran localizados a lo largo de los ríos Marañón, Chinchipe, Santa Agueda, quebrada San Francisco, etc.

Asimismo, constituyen recursos explotables las calizas y agregados de construcción (Arenas y gravas).

En el mapa de anomalías por alteración de óxidos (color rojo) y arcillas (color verde), se ha identificado áreas potenciales empleando imágenes LANDSAT bandas 1457 para arcillas y bandas 1345 para óxidos.

En el análisis e interpretación de las imágenes satelitales, se ha marcado zonas anómalas con la comprobación de evidencia de campo. Asimismo, utilizando el mapa de relieve topográfico se ha descartado zonas anómalas de arcillas de gran magnitud y extensión por encontrarse en formaciones de ambientes sedimentarios.

La geología está integrada por numerosas formaciones, destacando la formación volcánica sedimentaria Oyotún, compuesta por lavas andesíticas porfíricas gris verdosas, formando franjas alargadas de orientación NO-SE a N-S que continúan tanto al norte como al sur del cuadrángulo de Jaén. En rocas intrusivas, destacada el intrusivo de Rumipite. Ubicado al norte de Huaquillas se ha reconocido apófisis monzodioríticos, en contacto con rocas volcánicas.

En la zona norte de la región, afloran cuerpos plutónicos graníticos que infrayace a las areniscas cuarzosas del Grupo Goyllarisquizga, generando zonas de alteración. Otras evidencias de las áreas potenciales es la zona comprendida en Tomaque – Mandinga, donde se ha encontrado oro (Au), diseminado en arenisca cuarzosa de la Formación Tamborapa, considerado como un prospecto <<paleoplacer>>, es decir un conglomerado aurífero fósil.

Estos conglomerados y areniscas inconsolidadas pertenecen a la Formación Tamborapa, el cual es producto de la intensa erosión del Grupo Goyllarisquizga. Es decir, el oro (Au), primario proviene de las areniscas cuarzosas, probablemente indicaría una mineralización epitermal.

La evidencia de zonas anómalas al SO de Jaén, (entre los pueblos de Zonanga Alta, La Palma, Vista Alegre y Nueva Esperanza) determinan zonas de alteración que se proyectan a lo largo de la margen sur del río Miraflores y a lo largo de la margen este de Zonanga. Predominan zona de contacto entre el granito, pórfido cuarcífero, granito porfíritico con los volcánicos sedimentario Oyotún, formando zonas de skarn.

Otra evidencia es el Pórfido de Cu denominado Huaquillas, en la provincia de San Ignacio.

En resumen, Cajamarca es una región privilegiada en recursos mineros. Se observa áreas con gran potencial geoeconómico, destacando áreas con anomalías de pórfidos y depósitos epitermales por descubrir en esta zona norte de la región. Así lo demuestran los numerosos estudios y proyectos de investigación que comprende el cuadrángulo de Jaén, la evidencia de algunas zonas de alteración que han sido estudiadas.

#### 4.6 CONSIDERACIONES METALOGENÉTICAS.

El área de estudio esta influenciada en su lado occidental por la Provincia Metalogenetica de los Andes Occidentales, subprovincia Polimetálica Altiplanica-Interandina en tanto que hacia el lado oriental prevalece la influencia de la Provincia Metalogenetica Andina Oriental, (Bellido, E y De Montreuil, L; 1972).

La unidad litoestratigráfica más antigua del área de estudio es el Complejo del Marañón (Neoproterozoico), cuyas rocas metamórficas son importantes para la mineralización del oro (Au), que se encuentra como inclusiones en las vetas de cuarzo.

Las rocas vulcano-clásticas del Grupo Mitu (Pérmico Superior) no evidencian mineralización primaria; sin embargo, la secuencia conglomerádica basal, podría contener oro (Au), en los rodados metamórficos y plutónicos.

Las calizas el Grupo Pucara (Triásico superior-jurásico inferior) evidencian mineralización de Zn, Pb y Cu, según muestras tomadas en el Alto Imaza-Aramango y posiblemente corresponden a yacimientos de tipo singenético.

La Formación Oyotún (Jurásico medio) es el principal metalotecto en las hojas de San Ignacio y Chingozales, estas rocas volcánicas presentan evidencias de alteración/mineralización de Au, Ag, Cu, Pb y Zn en yacimientos de tipo diseminado. La mineralización esta relacionada mayormente a la fase lávica y en menor proporción a las rocas piroclásticas de la formación.

La secuencia silico-clástica el Grupo Goyllarisquiza y Grupo Oriente, solo presenta pequeños niveles de carbón, indicadores de ambientes palustres en tanto que la secuencia calcárea asignada al Cretáceo superior no muestra evidencias de mineralización.

Las unidades plutónicas (Cretáceo superior-Paleoceno) de composición granodiorítica, son las que han jugado un papel importante en la mineralización, debido a que sus flujos hidrotermales reaccionaron favorablemente al afectar a las rocas volcánicas de la Formación Oyotún.

Los controles estructurales son los fallamientos longitudinales con rumbo preferencial N-S y NNE-SSO que han afectado las diversas unidades litoestratigráficas, han controlado y limitado las zonas de fracturamiento y alteración. En algunos casos los sistemas de fracturamiento y venillas de sílice, carbonatos y prehnita adquieren formas del tipo stockworks.

En determinados sectores los depósitos fluviales, contienen oro (Au), aluvial. Las zonas de mayor interés son el valle Chinchipe, confluencia con el río del mismo nombre y el Marañón, valle del río Marañón, quebrada San Francisco, río Santa Agueda, etc.



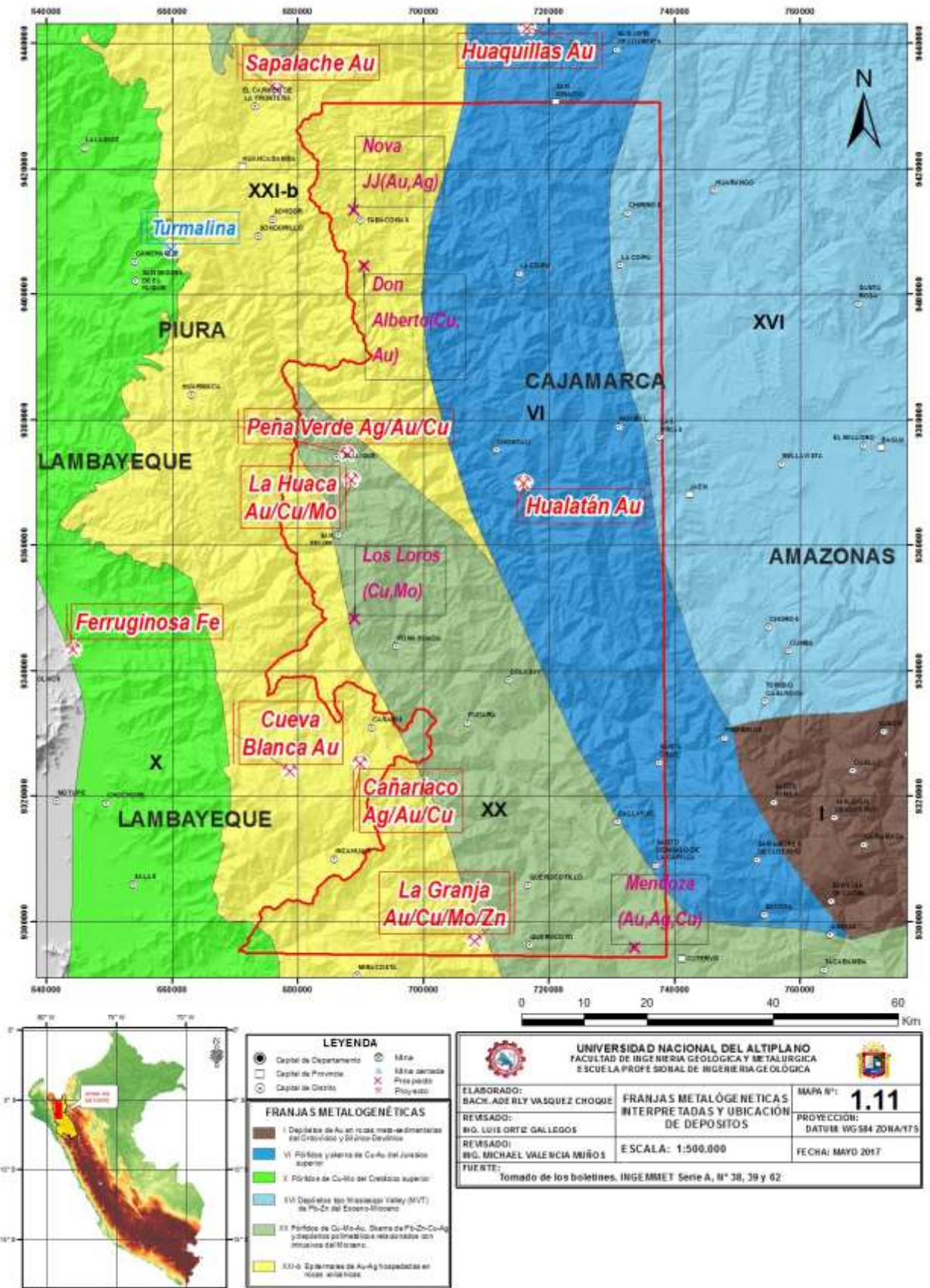


Foto N° 27 : Mapa franjas metalogeneticas y ubicacion de depositos de la zona de estudio. (Direccion de Teledeteccion. INGEMMET).

**CONTROL LITOLOGICO Y ESTRUCTURAL****4.7 LITOLOGICO.**

Se han podido reconocer tipos de roca (según el diagram de TAS), las cuales según su contenido químico varían de intermedias a ácidas: Monzodioritas, granito, granodioritas, cuarzo monzodioritas.

**Prospecto Mendoza (Cutervo). -**

La prospección se encuentra situada aproximadamente a 10 km. al oeste del distrito de Cutervo, Provincia de Cutervo Departamento de Cajamarca, 1400 m.s.n.m.

Afloramiento de roca caliza Cretasica Pulluycana, con características de filones calcáreos típicas, unidad geológica predominante parece haber sido introducida por un cuerpo ígneo de dimensiones kilométricas. Una galería de 1.6 x 1.50 (m) de ancho y alto, con venillas de cuarzo con datos estructurales de 165°/80° entre la zona de alteración, exponen óxidos y sulfuros de hierro y cobre. Provablemente fue clausurado y rellenado con material rocoso y tierra, presenta también una chimenea que oxigenaba las labores, se promedia 10 metros de profundidad esta labor. La muestra tomada con código: 13f-R-011 coordenadas 733580E 9295904N, muestra resultados en la siguiente tabla.

**Tabla N° 17** : Resultado de valores de la muestra 13f-R-011<sup>38</sup>  
(Analizado por el Laboratorio SGS).

Elemento	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
<b>Unidad</b>	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
<b>Metodo</b>	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
<b>Limite Detec.</b>	5	1	5	2	5	5
<b>Limite Superior</b>	10000	1000	10000	10000	10000	10000
<b>13f-R-011</b>	12	<1	3252	3	6	150

La muestra presenta vetillas de mineral cobre (malaquita) y sulfuros oxidados amañera de patinas, metros mas arriba presencia de calcopirita, marcasita cristalizada con reemplazamiento en fracturas.

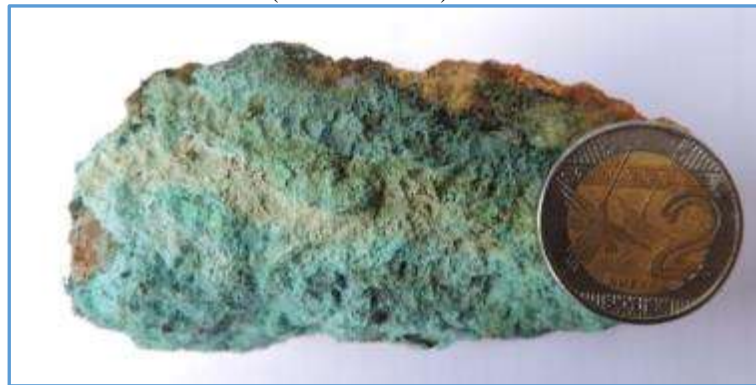
Descrita macroscópicamente como cuerpo de exoskarn con minerales de granates (grosularia), óxidos de Fe y vetillas de mineral de cobre (malaquita). Mina abandonada donde se explotaba hace 40 años de manera artesanal, minerales como el cobre, plata y oro (Cu, Ag y Au). Ubicado en el mapa metalogenéticamente en la franja XX Pórfidos de Cu-Mo-Au, Skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Es muy probable que exista en Cutervo mineral de un promedio de 2-5 % de cobre, como también se encuentra sulfuros en la zona de alteración, entre calizas y el cuerpo intrusivo que posiblemente formen un pseudoskarn (Lawrence D. Hayes).

38 PPB: Partes por billón, PPM: Partes por millón. Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno.





**Foto N° 28 :** Toma de datos estructurales  
(Mina Mendoza).



**Foto N° 29 :** Muestra con Carbonatos de Cobre (Malaquita, Crisocola),  
En las fracturas de la roca, (Mina Mendoza).



**Foto N° 30 :** Codificación respectiva de la ocurrencia  
A la izquierda llenado de ficha de campo, a la derecha muestreo respectivo.

**Mina la Granja. –**

El Proyecto Minero La Granja, ubicado en la Región Cajamarca, distrito de Querocoto, provincia de Chota; comprende 7,400 hectáreas, a una altura de 2,000 msnm.

La Granja es un yacimiento de tipo pórfido de cobre con brechas y skarns mineralizados asociados, en un área de aproximadamente 3 x 3 (km) y en un rango vertical de 2.000 (m). El sistema se ubica en el cinturón Miocénico de los Andes en el norte del Perú. La litología predominante consiste en un pórfido dacítico donde las fases de intrusión son identificadas con rangos de composiciones que van desde diorita a riocacita.

La secuencia volcánica - sedimentaria con buzamiento predominante 20° al sureste, varía desde volcanoclastos (Formación Oyotun) superpuestos por cuarcitas – areniscas (Grupo Goyarisquisga), sobreyacido por secuencia de calizas y limolitas de las formaciones Inca – Chulec – Pariatambo, superpuestos por volcánicos (Andesitas – Dacitas) de la Formación Llama del Grupo Callipuy. Los intrusivos tempranos varían de granodioritas a dioritas estériles controladas por fallas. La intrusión principal y generadora de la mineralización consiste en un pórfido dacítico temprano, cuyas variedades más tempranas incluyen pórfidos dioríticos – dacíticos a cuarcíferos, con sus respectivos pórfidos interminerales de composición dacítica. El desarrollo de skarn en la secuencia sedimentaria calcárea se asocia principalmente a los pórfidos tempranos.

Los cuerpos de brechas hidrotermales se desarrollan en ambos clusters, principalmente en los contactos entre los pórfidos y skarn.

Por lo general, albergan las más altas leyes de cobre, seguidos por los pórfidos tempranos y los skarns. Hacia el centro del pórfido El Mirador, existe una fase final denominada Diatrema Tardía, sin mineralización, en forma de embudo con contactos algo distintos, más angosto en profundidad y extendiéndose cerca a la topografía. RTMP ha explorado el depósito desde 2006, llevando a cabo investigaciones geológicas, geotécnicas y metalúrgicas, y ha identificado que un flujo de procesos híbrido, compuesta de lixiviación en pilas para tratar mineral que no produzca concentrados viables y flotación para tratar mineral que no responde favorablemente a lixiviación, es una opción atractiva para el desarrollo del proyecto.

Afloramiento del cuerpo plutónico, pórfido dacita, representada por la muestra con código 13f-R-012, coordenadas 707322E, 9296745N presenta moderada a fuerte alteración, textura perbasiva. Silicificación débil, moderada argilización y seritización, venillas con óxidos de Fe menores a 4 cm. alterado de dimensiones 50 x 12 (m), ancho y alto, minerales de ganga curzo (Qz), óxidos de hierro (FeO) Y feldespatos, teniendo como roca huésped pórfido dacita, presencia de venillas con direcciones de 170°/60° y 65°/75°. Esta dentro de la franja XXI-b Epitermales de Au-Ag hospedadas en rocas volcánicas.

**Tabla N° 18 :** Resultado de valores de la muestra 13f-R-012<sup>39</sup>  
(Analizado por laboratorio SGS).

Elemento	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
Unidad	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Metodo	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Limite Detec.	5	1	5	2	5	5
Limite Superior	10000	1000	10000	10000	10000	10000
<b>13f-R-012</b>	15	15	309	19	23	20



(A1) Foto N° 31 : Afloramiento intrusivo La Granja

**Prospecto los Loros.**

Prospecto los loros se encuentran localizado en el Departamento de Cajamarca, Porvincia de Jaen Distrito de Pomahuaca, al NO de la quebrada Arabisca a 3-4 km. Afloramiento de cuerpo ígneo alterada que se encuentra en contacto con el Grupo Pulluycana con estructuras vetiformes en roca porfiroide con fenos subcentimétricos de feldspatos, calcita diseminada rellenoando fracturas, venillas. Roca caja marga y cortadas por vetillas de cuarzo residual.

Descrita macroscopiamente como un porfido dacita, abundantes cantos rodados de porfido dacita, rodados de hornfel cerca de rocas calcáreas negras masivas, metalogeneticamente se encuentra en la franja X Cu-Mo. Código de muestra representativa 12e-R-001, 688919E, 9348300N.

39 PPB: Partes por billón, PPM: Partes por millón. FAA515: Ensayo al fuego, ICM90A: Ensayo al fuego, Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno.



**Tabla N° 19 :** Resultado de valores muestra 12e-R-001<sup>40</sup>  
(Analizado por laboratorio SGS).

Elemento	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
Unidad	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Metodo	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Limite Deteccion	5	1	5	2	5	5
Limite Superior	10000	1000	10000	10000	10000	10000
12e-R-001	<5	<1	<5	3	<5	70



**Foto N° 32 :** Dique con roca caja roca – marga.

(Muestra pórfido diorita (Di), con diseminación de sulfuros (Pirita)

**Prospecto Nova JJ.**

Ubicado al NO del Distrito Tabaconas a 1 a 2 Km por el cerro Chaparosa, Afloramiento de cuerpo ígneo Intrusivo Rumipete (dique), descrita macroscópicamente como roca granítico con biotita y fenos de hasta 1 cm fuertemente meteorizados, presenta escasas diaclasas y bloques rodados in situ 5x20 (m) serca al río del mismo nombre, textura pervasiva por fuerte alteración silica-clay.

Presenta vetillas de cuarzo y epidota en matriz. Metalogeneticamente se encuentran dentro de la franja XXI-b Epitermales de Au-Ag hospedadas en rocas volcánicas, se realizo el muestreo respectivo, las muestras representativas son 11e-R-014 689038E 9412609N, 11e-R-015 688877E 9413478N.

40 PPB: Partes por billón, PPM: Partes por millón. FAA515: Ensayo al fuego, ICM90A: Ensayo al fuego, Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno.

**Tabla N° 20 :** Resultado de valores de las muestras 11e-R-014, 11e-R-015<sup>41</sup>  
(Analizados po laboratorio SGS).

Elemento	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
Unidad	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Metodo	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Limite Detec.	5	1	5	2	5	5
Limite Superior	10000	1000	10000	10000	10000	10000
<b>11e-R-014</b>	<5	<1	6	7	9	60
<b>11e-R-015</b>	5	<1	5	<2	87	184



**Foto N° 33 :** Muestra tomada del intrusivo alterado, roca granítica.

**Prospecto Don Alberto JJ.**

Ubicado en Dsitrito de Tabaconas, a 2 km al norte del distrito menciando donde aflora el intrusivo mineralizado, Intrusivo Rumipete alterado, compuesto por granodiorita gneisificado con bandas de mineral de brillo metalico y abundantes micas pertenecientes al Complejo Maraón.

También se encontró bloques rodados in situ que se asume prorbenientes de cotas más altas en donde tambien aflora este cuerpo, reconocida macroscópicamente como granodiorita gneisificada con débil bandeamiento, vetillas de minerales máficos con cuarzo y feldespatos.

Pertencientes metalogeneticamente a la franja metalogenetica VI Pórfidos y Skarns de Cu-Au del Jurasico superior. Muestras representativas son 11e-R-013, coordenadas 690451E 9404612 N.

41 PPB: Partes por billón, PPM: Partes por millón. FAA515: Ensayo al fuego, ICM90A: Ensayo al fuego, Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno.

**Tabla N° 21 :** Resultado de valores de la muestra 11e-R-013<sup>42</sup>  
(Analizadas por laboratorio SGS).

Elemento	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn
Unidad	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Metodo	FAA515	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A	ICM90A
Limite Detec.	5	1	5	2	5	5
Limite Superior	10000	1000	10000	10000	10000	10000
<b>11e-R-013</b>	<5	<1	29	4	27	99



**Foto N° 34 :** Afloramiento de roca granodiorita gnesificada.



**Foto N° 35 :** Muestra con presenica de galena (Gln), Patinas de oxidos de hierro (Fe)  
Centro poblado. San José.

42 PPB: Partes por billón, PPM: Partes por millón. FAA515: Ensayo al fuego, ICM90A: Ensayo al fuego, Cu: Cobre, Au: Oro, Ag: Plata, Zn: Zinc, Pb: Plomo, Mo: Molibdeno.



**Placeres:**

A lo largo del río Chinchipe se registran zonas favorables para la formación de placeres, entre las que destacan las localidades del El Recodo, Perico, San Antonio, puerto Chinchipe, así como el área de confluencia con el río Tamborapa.

En términos generales, en el área se identifica un nivel de cauce actual constituido por material detrítico, en el cual se encuentran los minerales pesados, entre ellos el oro (Au). Por las dimensiones de las partículas, se asume que han sufrido largo transporte, puesto que el oro (Au), se presenta mayormente en forma de polvo con la minilla fina, que ocasionalmente alcanzan 3 (mm) de largo. La depresión es cíclica, generalmente en épocas de crecida y se realiza en lugares donde mengua la corriente.

La dirección predominante de estos paleocanales y canales es N-S. Se ubican en las terrazas en el cual se obtuvieron generalmente valores de 0.96 gr de Au/m<sup>3</sup>, destacando algunos con 2 gr/m<sup>3</sup>.

El río San Francisco que delimita en esta parte del país la frontera Peruano - Ecuatoriano, discurre de noreste a sureste y en sus márgenes se ubican numerosos placeres auríferos cuyo origen es incierto, se presume que provienen de ocurrencias primarias de oro (Au), ubicadas en franjas adyacentes mas al Norte. El oro se encuentra en <<charpas>> hasta de 6 (mm) de diámetro, en acumulaciones de grava de limitada extensión.

**4.8 FRANJAS METALOGENETICAS.**

La región de Cajamarca es una de las regiones del Perú más importantes e interesante desde el punto de vista geoeconómico; se debe principalmente a las características metalogenéticas que se encuentran asociadas a los diferentes tipos de depósitos que se han emplazado en la región.

La información geológica que se viene recolectando hasta nuestros días se viene desarrollando y complementando para la edición y actualización del mapa metalogenético de la región, así como los diferentes mapas temáticos (folios) que lo integran.

La Región de Cajamarca tiene un gran potencial geológico-minero albergando en su territorio depósitos de tipo pórfidos de Cu-Au (Mo, Ag), cuerpos y vetas de oro, plata y polimetálicos y depósitos epitermales de tipo alta sulfuración en rocas volcánicas miocénicas de la Cordillera Occidental.

El Mapa Metalogenético de la Región Cajamarca a escala 1:250 000 ha sido preparado en base a dominios geotectónicos, dataciones radiométricas, contactos geológicos y a los conocimientos actualizados de los yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca.

Tomando en cuenta lo señalado por (Ponzoni, 1980), la región estudiada comprendería parte de la denominada Provincia Metalogenética Occidental y dentro de esta a la Subprovincia Polimetálica de la Cordillera Occidental, caracterizada por yacimientos de Zn, Pb, Ag y Cu con cantidades variables de otros metales (Bi, W, Hg, Se, Te, etc.).

Siguiendo con el autor arriba citado, la Provincia Metalogenética Occidental está relacionada, genéticamente, a la evolución del territorio durante el ciclo andino (Sedimentación, Plutonismo, Tectonismo) y estaría ligada a la “subducción” de la placa de Nazca bajo el continente; en el caso de la Subprovincia polimetálica en el norte del Perú, coincide en el tramo en que la placa la placa “subducida” tiene una inclinación



suave, del orden de los 18°. Añade Ponzoni, que esta Sub-provincia debería su existencia al régimen de compresión a que estuvo sujeta el área, lo que impidió el acceso de grandes volúmenes de magmas.

Los magmas presentes en dicha área fueron “canalizados” a través de estructuras profundas, dando origen a intrusivos subvolcanicos relacionados genéticamente a la mineralización polimetálica.

En el área que comprende el cuadrángulo de Jaén y adyacentes existen algunas zonas de alteración que han sido estudiadas por JICA-INGEMMET (“Reporto on the mineral exploration in the Pachapiriana área”, 1992”). También dentro del “Proyecto Chinchipe-Cordillera del Cóndor”, realizado por KFW-INGEMMET (1984) y el “Programa de producción Aurífera – Selva Norte”, ejecutado por el Banco Minero del Perú (1972), se han estudiado parte de la zona.

### **Zona Norte de Cajamarca.**

La zona norte de Cajamarca, comprende políticamente las provincias de San Ignacio y Jaén. Las franjas metalogenéticas que comprenden la zona norte de estudio, son las siguientes:

**Franja I.-** Depósitos de Au en rocas metasedimentarias del Ordovícico – Silúrico-Devónico,

**Franja VI. -** Pórfidos skarn de Cu-Au del jurásico superior,

**Franja X.-** Pórfido de Cu-Mo y vetas polimetálicas del cretáceo superior – Paleoceno,

**Franja XVI.-** Depósitos tipo MVT de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno,

**Franja XX.-** Pórfidos de Cu-Mo, skarn de Cu-Zn-Pb-Pb-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno.

**Franja XXIV.-** Depósitos de paleoplaceres en rocas sedimentarias del Plioceno-Pleistoceno.

## CONCLUSIONES.

### **Análisis petrográfico y unidades intrusivas:**

- La Granja se registra 02 facies litológicas, Monzogranito y granodiorita, Chillasque registra 01 facie litológica de tonalita,
- Las Colmenas registran 03 facies litológicas tonalitas, granodioritas y sienogranito.
- Paltashaco presenta 02 facies litológicas diorita y granodioritas. Rumipite, se han definido como dos grupos de rocas.
- Un primer grupo de rocas que varía de dioritas, tonalita, granodiorita y un segundo grupo que varía de gabro alcalino, gabro olivino y gabros probablemente por una diferenciación de magmas y enriquecimiento de magnesio y aluminio (Mg, Al).
- Pomahuaca, registra una roca sienogranito, granodiorita.
- A través del estudio petrográfico y geoquímico se determinó que las rocas de los intrusivos presentan un carácter calco-alcalino de la serie shoshonítica.
- Los intrusivos Las Colmenas, Chillasque y Pomahuaca son las que llevaron el control litológico en la zona de San Ignacio presentando fallamientos donde forman interesantes trampas estructurales.
- Se establece que las unidades intrusivas son pulsaciones contemporáneas, pero de composiciones diferentes.

### **Análisis geoquímico, mineralógico y zonación metalogenética:**

- El proceso genético por el cual se han originado las rocas de los intrusivos en estudio, han sido de cristalización fraccionada.
- El ambiente tectónico está relacionada con zonas de subducción.
- Se confirma el mapeo y identificación de las 6 unidades intrusivas que INGEMMET reconoció en las franjas metalogenéticas que involucra la zona de estudio.
- Los intrusivos la granja, Rumipite, Paltashaco son la que lleva el control litológico en la zona de estudio, con estructuras de rumbo NNE-NNS básicamente donde la mineralización está representada por cuerpos, vetas, diques de cobre en zonas de mineralización (Oxidación, Enriquecimiento secundario e Hipogena).
- Se puede determinar entonces que el Intrusivo La Granja, está más asociada a la presencia de yacimiento de Cu-Au, mientras el intrusivo Chillasque está asociada a yacimiento Cu-Au, Cu-Zn-Pb (Ag), intrusivo Las Colmenas, se puede apreciar que está más asociada con yacimiento de Mo-Zn-Pb, en tanto el intrusivo Paltashaco está asociada a dos tipos de yacimiento Cu-Mo, Cu-Zn-Pb(Ag), a su vez el intrusivo Rumipite está más asociada a dos tipos de yacimiento Cu- Au, Fe-Au-Cu y el intrusivo Pomahuaca está asociada más asociada a la presencia de yacimiento Mo.

### RECOMENDACIONES.

- Se recomienda seguir con la investigación de los intrusivos de la zona de estudio, prospectos y ocurrencias visitadas, puesto que se encontró valores considerables de minerales como el Au, Ag y Cu.
- Se recomienda realizar un mapeo geológico local a escala 1:1000 en el segmento Jaen –San Ignacio.
- Se recomienda realizar más análisis geoquímicos e isotópicos de Sr y Nd de roca con características similares, de áreas vecinas, así como estudios petrogenéticos y de procedencia con el propósito de obtener aproximaciones más precisas de la historia geológica de la región y su relación a través del tiempo.
- También será necesario determinar las variaciones geoquímicas de los minerales por medio de la microsonda electrónica, inclusiones fluidas y así inferir la temperatura, presión y composición de los magmas que formaron las rocas.
- Realizar estudios más avanzados de geofísica como polarización inducida (IP), magnetometría con la finalidad de descartar anomalías someras, o a los de magnetometría superficial o a profundidad.
- Se recomienda realizar muestreo sistemático - canales de los intrusivos que afloran en superficie Rumipite, La Granja, Paltashaco, Chillasque, Las colmenas y Pomahuaca.
- Efectuar perforación Diamantina, con el fin de determinar los alimentadores ( ) y definir las estructuras mineralizadas

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, J., Rivera, R., Valencia, M., Chirif, H., Huanacuni, D., Rodríguez, I., Villareal, E., Paico, D., Santisteban, A. (2009), Mapa Metalogénico del Perú.
- Aguita, R & Le Bel, L. (1987). The Linga supr-unit: high-k diorites of the Arequipa segment. Magmatism at a plate edge. The Peruvian Andes. New York.
- Aranda., A. (1994). 18 estudios mineragraficos proyecto san Ignacio II y III.
- Bellido, E & Lawrence D.Hayes (1972). The structural evolution of the coastal batholith in the provinces of Ancash and Lima, Central Perú. Doctor en Filosofía. University of Liverpool. Liverpool.
- Benavides V. (1956). Geología de la Región de Cajamarca Sociedad Geológica del Perú, vol.30.
- Benavides. (1999) Sociedad Geológica del Perú., Bol., No. 30 pp.49-79,1956. Geología de la Región de Cajamarca.
- 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.
- Choquehuanca, S (2014) Vulcanismo Monogenético del Perú Central: Ayacucho y Huancavelica definiendo límites de Litósfera Subcontinental. Universidad Nacional del Altiplano. Puno.
- Cobbing, E. Pitcher, W. Taylor, W. (1977). Segments and super-units in the coastal batholith of Peru. University of Chicago Press. Chicago, Illinois.
- Cobing, (1981) Geologia de la Cordillera Occidental del Norte del Peru (Bol. N° 10).
- Davies, C. (2002). Tectonic Magmatic and Metallogenic evolution of the Cajamarca mining district Northern Peru. Ph. D. Thesis James Cook University Australia.
- Fernández, S & Hernández, A. (1991) Cálculos y diagramas geoquímicos. Universidad Complutense de Madrid. Madrid
- Guevara., A. Estudio geológico-Aurífero del área de San Ignacio, Departamento de Cajamarca.
- Humberto Chirif. (2009). Geología Económica de la Región de Cajamarca.
- 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.
- Lara., M.A.; Leifeld, D; Rodríguez, M.P.; Rodríguez, W., Sheps, V.; Winkelmann, L. y Zarate, H. (1991). Prospección y Exploración de Materias Primas Minerales No Tradicionales.
- Le Maitre, R. Streckeisen, Feninger, 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, Woolley, A Litherland y otrosH.. (1987- 2002). Igneous rocks; a classification and glossary of terms; recommendations of the International Union of Geological Sciences
- León, W., Vargas, L., Palacios, O. Sánchez, A. (1999), Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Perú escala 1:1 000 000.
- Mamani M. Navarro P. Carlotto V. Acosta H, Rodríguez J. Jaimes J., Santos A. Rodríguez R. Chavez L., Cueva E y Cereceda C. (2010), Arcos Magmáticos Meso-Cenozoicos del Perú.



- Mantle, G & Collins, W (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *Geology*.
- Martínez, W; Cervantes, J. (2003): Rocas ígneas en el superunidad del Perú; Nuevos datos geocronométricos, geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16 y 18.30 latitud Superunidad. *Boletín No 26 Serie D Estudios Regionales Ingemmet*.
- Mc Donough, W & Sun, S (1995). *The composition of the Earth Chem. Geol v 120*. Elsevier.
- Mourier. (1988). *the geology and geochronology of the Arequipa segment of the coastal batholith of Peru*. University of Liverpool. Liverpool.
- Moya Lozada., Teodulo-UNSM, (1991). *Estudio Geológico y Geoquímico del distrito de Pomahuaca (Provincia de Jaén)*.
- Palacios O. (1995): *Carta Geológica Nacional, Geología del Perú Boletín N°55, serie A*.
- Pardo – Casas & Molnar, V. (1971) *Relative motion of the Nasca-Farallon y South American plate since late Cretaceous time*. *Tectonic*.
- Pedro Navarro, Roberth Monge. (2005). *Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico Grupo Calipuy, En la Cordillera Occidental del Norte del Perú*.
- Pilatasig, L., Gordoní., D., Palacios, O., Sanchez., J. (2005). *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias pasa las comunidades andinas. Ecuador-Perú-Canadá., DINAGE-INGEMMET., Geología de Ecuador y Perú entre los 3°S y 6°S*.
- Pitcher, W., Atherton, M., Cobbing, J. Beckinsale, R. (1978-1985), *Magmatism at a Plate Edge the Peruvian Andes*.
- R. Rivera, Quispe J, Rodríguez I. & Eder Villareal (2007). *Metalogenia de los Sistemas Porfiriticos de Cu-Au-Mo del Norte del Perú -Región Cajamarca*.
- Raymond Rivera. (2004) *Alcances Metalogeneticos de los Pórfidos de Au-Cu-Mo y sus Relaciones en la Exploración Minera-Región Cajamarca.TT-160*.
- Raymond Rivera. (2008). *Tesis de Maestría. Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Micénicos del Norte del Perú-Región Cajamarca*.
- Reyes & Caldas L., (1987). *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Boletín No 31. Serie A. Carta geológica Nacional*.
- Rollinson, H (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, and Interpretation*. Longman Scientific & Technical. Essex.
- Sánchez, A; Davila, D; De la Cruz, N. (1996): *Geologica del Cuadrángulo de Jaén.Boletin N° 62. Serie A: Carta geológica nacional. Ingemmet*.
- Sánchez., A. (1995): *Geología de los cuadrángulos de Bagua grande, Junbilla, Lonya grande, Chachapoyas, rioja, leimebamba y bolívar. Boletín N° 56. Serie A: Carta geológica nacional. Ingemmet*.
- Shand. (1968). *The genesis and emplacement of mafic plutonic rocks of the coastal batholith, Lima Province, Peru*. Doctor in Philosophy. University of Liverpool.
- Sillitoe R.G. (1974). *Caracterización, variación composicional del Batolito de la Costa Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Tafur I. (1950). *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca y Cajabamba. Boletín No 31. Serie A. Carta geológica Nacional*.
- 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.
- Victor C. (2012). *Dominios geotectónicos y metalogénesis del Peru*.

Wilson J. (1664) Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), chongoyape, (14-e), chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepen (15-e).

Wnkemann & Rodriguez., (1988). Estudios geoquímicos y geofísicos.

**ANEXOS**  
**ESTUDIOS PETROGRAFICOS Y BASE**  
**DE DATOS**