

# Análisis correlacional y caracterización litogeoquímica de los volcánicos Toquepala y Barroso en el sur del Perú

Correlational analysis and litogeochemical characterization of Toquepala and Barroso Volcanics from Southern Peru

Hugo Rivera M.<sup>\*</sup>, Jorge Chira F.<sup>\*</sup>, Néstor Chacón A.<sup>\*</sup>, Rosa Medina S.<sup>\*</sup>, Josué Sánchez Ll.<sup>\*\*</sup>, Carlos Bravo Ch.<sup>\*\*</sup>

RECIBIDO: 03/09/2012 - APROBADO: 14/11/2012

## RESUMEN

Las rocas volcánicas constituyentes de los Grupos Toquepala y Barroso en el sur del Perú, de acuerdo a su composición de elementos mayores, menores y trazas y su graficación en los diversos diagramas geoquímicos nos muestran que ambos grupos presentan un grado de evolución por cristalización fraccionada, son de la serie calcoalcalina de alto K, y de naturaleza subalcalinas. Los contenidos de Sr y Rb nos indican una fuerte asimilación y diferenciación de los magmas. El enriquecimiento de los elementos LILE (<100) y un empobrecimiento de elementos HFSE menor de 10, anomalías negativas de Nb y anomalías positivas de Th, Ce, nos indican que ambos grupos de volcánicos están relacionados a un marco tectónico de subducción de placas. Los contenidos químicos del Grupo Toquepala se deban a la contaminación durante el engrosamiento de la corteza terrestre durante el Cretáceo.

Los volcánicos del Grupo Toquepala son de naturaleza peraluminosa, y muestra una diferenciación que abarca mayormente el campo de las riolitas, dacita/traquidacita y andesita a andesita basáltica. Las rocas del Grupo Barroso son metaluminosa, muestra un mayor grado de oxidación (Fe total) y litológicamente varía de traquiandesitas/andesita, dacita/traquidacita, riolita y andesita basáltica/traquiandesitas basáltica.

**Palabras claves:** Diagramas Geoquímicos, Elementos Mayores, Trazas, Tierras Raras.

## ABSTRACT

Volcanic rocks from The TOQUEPALA and BARROSO groups in southern Peru, according to its composition of minor and trace elements and their graphing of various geochemical diagrams, show that both groups have an evolution degree by fractional crystallization. Both are of the high-K calc-alkaline series, and sub alkaline nature. Sr and Rb content show strong assimilation and differentiation of magmas. Enrichment of LILE elements (<100), a depletion of HFSE elements less than 10, negative anomalies of Nb and positive anomalies of Th, Ce, Show that both groups are related to tectonic setting of plate subduction. The chemical content of the Toquepala group is due to contamination during crustal thickening of the Cretaceous period.

The Toquepala group volcanics are peraluminous rocks and shows a differentiation mostly covering the field of rhyolite, dacite / andesite, traquidacite and basaltic andesite. The Barroso group rocks are meta aluminous and show a higher degree of oxidation (total Fe). The rock lithology varies from trachyandesites/andesite, dacite/traquidacita, rhyolite, and basaltic andesite / basaltic Trachyandesites.

**Keywords:** Geochemical diagrams, Major Elements, Trace Elements, REE.

\* Docentes EAP Ingeniería Geológica UNMSM

hriveram@unmsm.edu.pe

\*\* Estudiantes EAP Ingeniería Geológica UNMSM

## I. INTRODUCCIÓN

El alcance del presente trabajo involucra el tratamiento estadístico y graficación de los valores de los elementos mayores, menores y trazas de las rocas volcánicas pertenecientes a los Grupos Toquepala y Barroso al sur del Perú.

Los objetivos generales son la evaluación de los elementos mayores, menores, trazas y Tierras raras; obtener los diagramas de clasificaciones como TAS (Total alcalis-sílice), diagrama de Hacker, clasificación por saturación de sílice y alúmina y caracterizar geoquímicamente los volcánicos y encontrar sus diferenciación química y su relación con la mineralización de la región sur.

### I.1. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra entre los paralelos 16° y 18.30° latitud sur, comprendiendo a los departamentos de Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna (Fig 1). En esta área INGEMMET colectó 44 muestras de rocas volcánicas perteneciente al Grupo Toquepala y 81 muestras de rocas volcánicas del Grupo Barroso, analizando a todas ellas por análisis de rocas total incluyendo los óxidos mayores (08), menores (03) y trazas (35) con el doble fin de analizar geoquímicamente y hacer nuevas dataciones radiométricas.

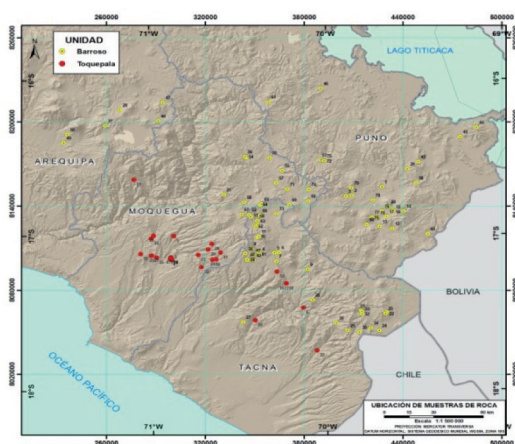


Figura N.º 1. Plano de ubicación de muestras de rocas del Grupo Toquepala y Barroso

### I.2. Geología Regional

La evolución magmática en la zona de estudio es bastante compleja, porque interactúan elementos tectónicos globales y magmatismo asociado con distorsiones de la corteza litosférica (Martínez, W *et al*, 2003).

El Grupo Toquepala fue denominado por Bellido E y Guevara C (1963), para describir a un conjunto

de rocas volcánicas con algunas intercalaciones de clásticos gruesos que afloran a lo largo del Flanco Andino en el sur del Perú. Esta secuencia está formada por derrames andesíticos, dacíticos, y riolíticos y brechas de flujo y piroclásticos de la misma composición (Bellido y Guevara, 1963 y Perales, F, 1994). Este Grupo Toquepala fue datado entre 70 MA y 59 MA por lo que se le considera de una edad comprendida entre el Cretáceo superior al Paleoceno (INGEMMET, 1995).

El Grupo Toquepala corresponde a dos magmatismo diferentes: la inferior corresponde a materiales diferenciados felsicos y altamente contaminados mientras que la superior corresponde a materiales evolucionados e intercalados con mantos de lavas andesita-basalto (Martínez, W, 2003).

El Grupo Barroso fue definido por Mendivil, S (1965), en una cadena de conos volcánicos ubicados en la Cordillera del Barroso en Tacna. Los conos más antiguos corresponden a aparatos completamente erosionados que no muestran morfología alguna de volcanes. Este Grupo está formado por una alternancia de derrames y piroclásticos, los mantos de lavas son andesitas a traquiandesitas con espesores que varían de 20 a 30 m y los piroclásticos son andesíticos (Mendivil, S, 1965; Perales, F, 1994). De acuerdo a edades determinadas entre ( 7.2 a 0.7 MA) se le asigna a este Grupo una edad del Mioceno superior a Pleistoceno (INGEMMET, 1995).

## II. ANÁLISIS DE LA ESTADÍSTICA Y DIAGRAMAS DE LAS VARIABLES

### 2.1. Clasificación Geoquímica: Elementos Mayoritarios

#### 2.1.1 Saturación de Alúmina

Las rocas volcánicas de acuerdo a la clasificación de Shand se clasifican en: Peraluminosa:  $Al_2O_3 > CaO+Na_2O+K_2O$ ; Metaluminosa:  $Na_2O+K_2O < Al_2O_3 < CaO+Na_2O+K_2O$ , y Peralcalina  $CaO+Na_2O+K_2O > Al_2O_3 < Na_2O+K_2O$ .

Los volcánicos del Grupo Barroso tiene un contenido promedio de 15.96% de  $Al_2O_3$  y 11.16% en  $CaO+Na_2O+K_2O$ ; el Grupo Toquepala tienen 14.02% de  $Al_2O_3$  y 9.55% en  $CaO+Na_2O+K_2O$ . Estos valores se transforman a proporciones moleculares y se obtiene que el Grupo Toquepala el 73% del total de muestras son de saturación peraluminosa y 27% son metaluminosa, (Fig. 3), mientras que el Grupo Barroso el 75% del total de las muestras tienen una tendencia metaluminosa y 25% peraluminosa (Fig.2). Se entiende entonces que el Grupo Toquepala está sobresaturado en alúmina por contener más minerales ricos el aluminio como cordierita, silimanita, andalu-

cita, corindón; el Grupo Barroso está subsaturada en alúmina al contener piroxenos, biotita y hornblenda.

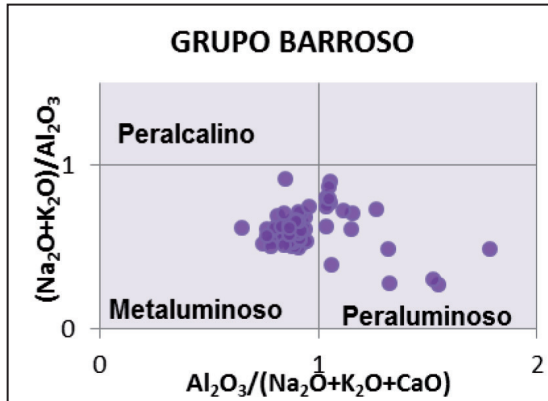


Figura N.º 2: Saturación alúmina Grupo Barroso

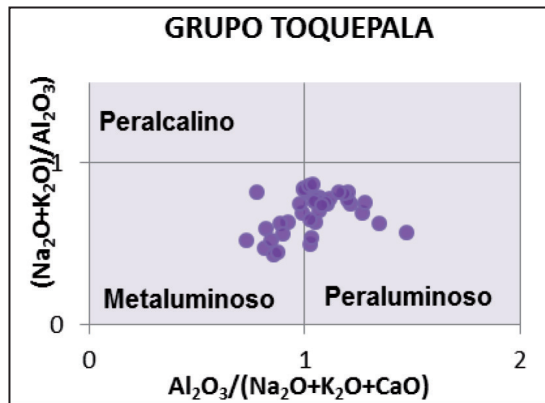


Figura N.º 3: Saturación alúmina Grupo Toquepala

**2.1.2. Grado de Oxidación**

En los estudios geoquímicos interesa conocer el Hierro total de las rocas expresado unas veces como FeO y otras como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para conocer el grado de oxidación. Para realizar la transformación de uno en otro óxido nos basamos en el hecho de que los equivalentes son números proporcionales al número de cationes de cada óxido, es decir, se pueden considerar como el valor molecular de un óxido que solamente tuviera un átomo metálico.

$$Fe\ total = Fe_2O_3 + FeO$$

$$Fe_2O_3\ total = Fe_2O_3 + FeO(1.1113)$$

$$FeO\ total = FeO + Fe_2O_3/1.1113$$

El Grupo Barroso muestra un contenido total de Fe de 7.03%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total de 7.23% y FeO de 6.51% (Ta-

bla 1) y el Grupo Toquepala 4.15%, 4.26% y 3.84% de Fe total, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FeO respectivamente (Tabla.2).

Tabla N.º 1: Fe total Barroso (%)

Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Total
Fe total	5.20	1.83	7.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	5.20	2.03	7.23
FeO total	4.68	1.83	6.51

Tabla N.º 2: Fe total Toquepala (%)

Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Total
Fe total	3.17	0.98	4.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	3.17	1.09	4.26
FeO total	2.86	0.98	3.84

Tabla N.º 3: Comparación Fe total (%)

Fe	Barroso	Toquepala
Fe total	7.03	4.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.23	4.26
FeO	6.51	3.84

El resultado de las transformaciones del Fe<sup>+3</sup> y Fe<sup>+2</sup> arrojan un notorio incremento (porcentaje cercano al 70%) del Fe total, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FeO en los volcánicos del Grupo Barroso comparando con los del Grupo Toquepala (Tabla 3) debido a que las rocas volcánicas de este Grupo ha sufrido una oxidación ya sea en un último estadio de cristalización o en procesos posteriores tales como alteraciones, etc., por lo cual se tiene una gran cantidad de hierro férrico relativo al hierro férrico del Grupo Toquepala, esto lleva a la conclusión que cuanto mayor sea la cantidad de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mayor cantidad de Feo se consume como es el caso del Grupo Barroso

**2.1.3 Correlaciones de Pearson**

Las correlaciones de los óxidos mayores en el Grupo Barroso confirman que hay una buena correlación negativa (que disminuyen con el incremento de la sílice) entre el SiO<sub>2</sub> con TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, correlación positiva con el K<sub>2</sub>O (que incrementa con el aumento de la sílice) y nula correlación con el Na<sub>2</sub>O y MnO. La alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tiene una buena correlación positiva con el TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO y CaO.

Las correlaciones en el Grupo Toquepala demuestran que el SiO<sub>2</sub> tiene correlaciones muy ambiguas y muy baja con rangos menores al r<0.5 es decir no hay

una buena correlación con los demás óxidos, solo con bajas correlaciones positivas con MnO y K<sub>2</sub>O.

En líneas generales existen una muy buena correlación negativa entre la sílice y los demás óxidos en el Grupo Barroso y muy baja correlación positiva y negativa en el Grupo Toquepala, lo que indica que los volcánicos Toquepala se han contaminado en su ascenso probablemente debido a su mayor profundidad de su origen.

**2.1.4 Diagramas de Harker**

Las concentraciones de elementos mayoritarios o mayores entre estos dos Grupos de rocas volcánicas hay un predominio en abundancia promedio en el Grupo Barroso en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, TiO<sub>2</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O (Fig.5) y en el Grupo Toquepala solo en SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O (Fig.4).

Mientras que el Grupo Barroso, el SiO<sub>2</sub> varía de 50 a 75%, el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 13 a 20%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 0,24 a 8,9%, el FeO de 1 a 4,4%, CaO de 0.10 a 7.34%, MgO de 0.02 a 7.29%, Na<sub>2</sub>O de 1.01 a 4.56, K<sub>2</sub>O de 0.57 a 5,23% y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02 a 1.00%.

Las correlaciones negativas entre el SiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y TiO<sub>2</sub> corroboran también la evolución por cristalización fraccionada en ambos Grupos de volcánicos. En ambos Grupos muestran un fraccionamiento de K en el tiempo enriqueciéndose de este álcali con el incremento de la sílice, mientras que los demás óxidos disminuyen con el incremento de la sílice.

En el Grupo Toquepala el Fe total (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) varía de 0.37-17.13%, los álcalis Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O de 3.8 a 11.3% y los alcalinotérreos CaO+MgO entre 0.15 a 11.5% y en el Grupo Barroso, el Fe total varía de 1.24-11.39%, los álcalis entre 1.58 a 9.79% y los alcalinotérreos de 0.12 a 14.63% (Fig.6). Estos rangos de variación sugieren un grado de evolución por cristalización fraccionada de minerales ferromagnesianos y plagioclasas cálcica.

El empobrecimiento del Mg se deba probablemente a su incorporación en la cristalización de los ortopiroxenos, así el Al como el Ca y Na que son asimilados por las plagioclasas. El Fe y Ti su disminución se deba

a su asimilación a la magnetita, mientras que el K se comporta como elemento incompatible al inicio de allí su enriquecimiento con el incremento de la sílice y esto probablemente se deba a la formación de muscovita y ortosa en rocas más félsicas.

Los rangos de variación del MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO sugieren un grado de evolución por cristalización fraccionada de minerales ferromagnesianos y plagioclasas cálcica. Las correlaciones encontradas entre SiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y TiO<sub>2</sub> corroboran también la evolución por cristalización fraccionada.

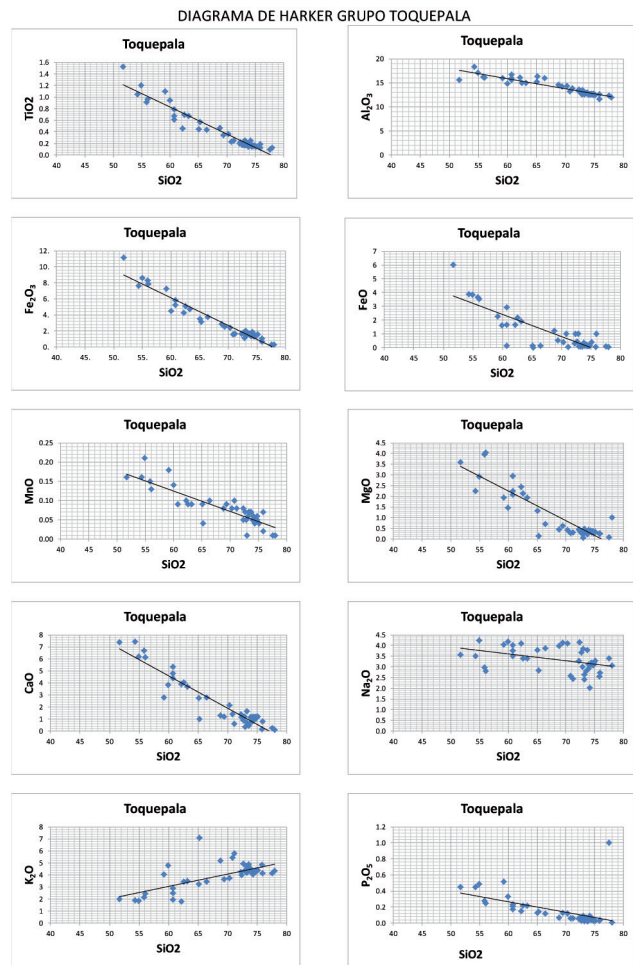


Figura N.º 4. Diagrama Harker Grupo Toquepala



Las rocas del Grupo Toquepala de acuerdo al Diagrama de Irvine-Baragar  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  (Fig. 9) corresponden mayormente a la serie subalcalina aunque hay rocas de la serie alcalina.

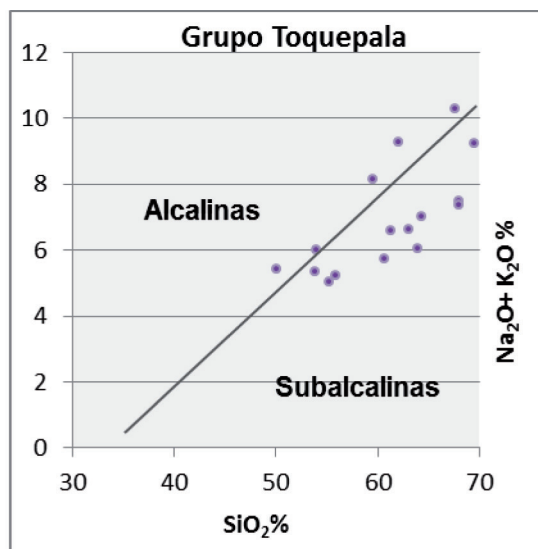


Figura N.º 9. Diagrama Grupo Toquepala.

Las rocas del Grupo Barroso de acuerdo al Diagrama de Irvine-Baragar  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  (Fig. 10) corresponde mayormente a la serie subalcalina aunque existen rocas de la serie alcalina.

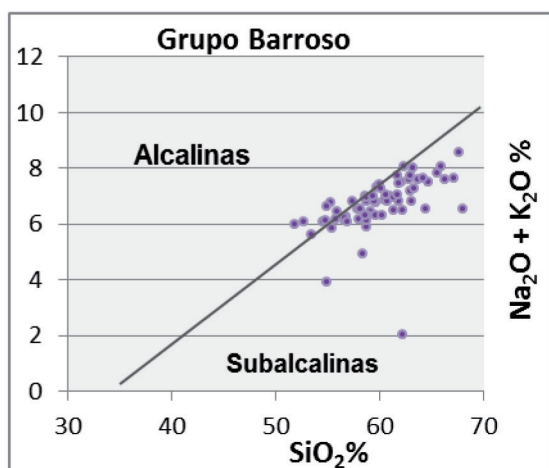


Figura N.º 10. Diagrama Grupo Barroso

### 2.1.7 Diagrama de Ringwood: $\text{SiO}_2$ vs $\text{K}_2\text{O}$

Con respecto al Diagrama de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  de Ringwood (1989) y Le Maitre (1989) (Fig. 11) al Grupo Toquepala, le corresponde la clasificación geoquímica de sus rocas es como de la serie calco-alcalina de alto potasio.

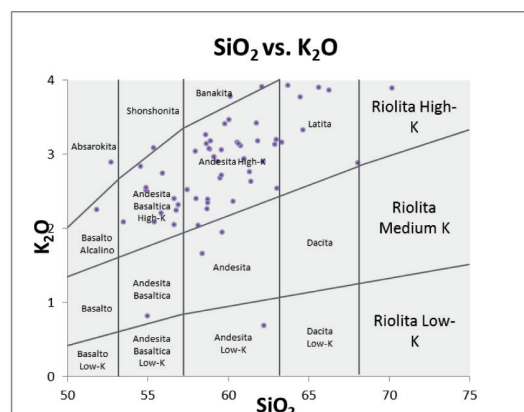


Figura N.º 11. Diagrama Grupo Toquepala

Con respecto al Diagrama de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  de Ringwood 1989 y Le Maitre (1989) (Fig. 12), el Grupo Barroso, le corresponde la clasificación geoquímica de sus rocas como de la serie calco-alcalina de alto potasio.

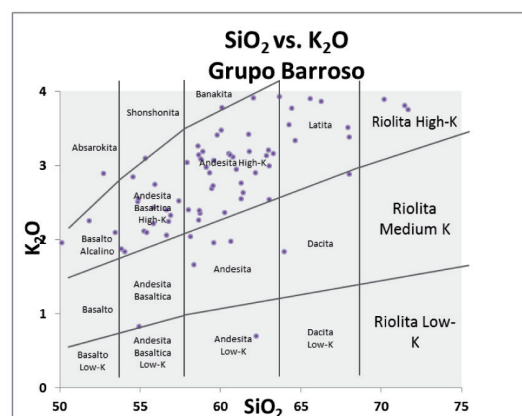


Figura N.º 12. Diagrama Grupo Barroso

## 2.2. Clasificación Geoquímica: Tierras Raras y Trazas

### 2.2.1 Diagrama de Tierras Raras Normalizadas

Los promedios de abundancia de tierras raras de ambos Grupos de volcánicos fueron normalizados de acuerdo al índice de los condritos de Wakita, con el fin de evitar el efecto Oddo-Harkins (los elementos de 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 presentan en las condritas (meteoritos), en la literatura se dan varios valores de acuerdo a diversos autores de las abundancias de tierras raras en condritas

Una vez normalizados los valores de todas las tierras raras se proyectan en la ordenada en logaritmo de base 10 (en un papel semilogarítmico).

Los análisis correlacionales de los espectros entre los elementos LILE/HFSE (Elementos litosféricos de gran radio iónico/elementos de alta carga iónica) y las tierras raras ligeras/tierras raras pesadas- LREE/HREE (Fig. 13) indican lo siguiente:

Los diagramas spider nos demuestran una cristalización fraccionada.

Hay un enriquecimiento en ambos Grupos Toquepala y Barroso de LREE hasta el Tb sobre el intervalo 10, y un empobrecimiento en HREE a partir del Tb por debajo del intervalo 10 en ambos Grupos de volcánicos, la presencia de granate en la fuente no es muy clara, pero este empobrecimiento debajo de

10 podría indicarlo. El Grupo Barroso es ligeramente más rica en LREE, pero es más empobrecida en HREE que en el Grupo Toquepala.

La anomalía negativa del Eu con respecto al Sm y al Gd en el espectro normalizado de REE del Grupo Toquepala se estima como indicadora de separación de las plagioclasas por cristalización fraccionada de la roca fuente, mientras que en Grupo Barroso no es evidente esta anomalía por lo que se estima que no hubo dicho fraccionamiento.

Los Grupos Barroso y Toquepala presenta un claro paralelismo y poca pendiente < 10 con respecto a HREE.

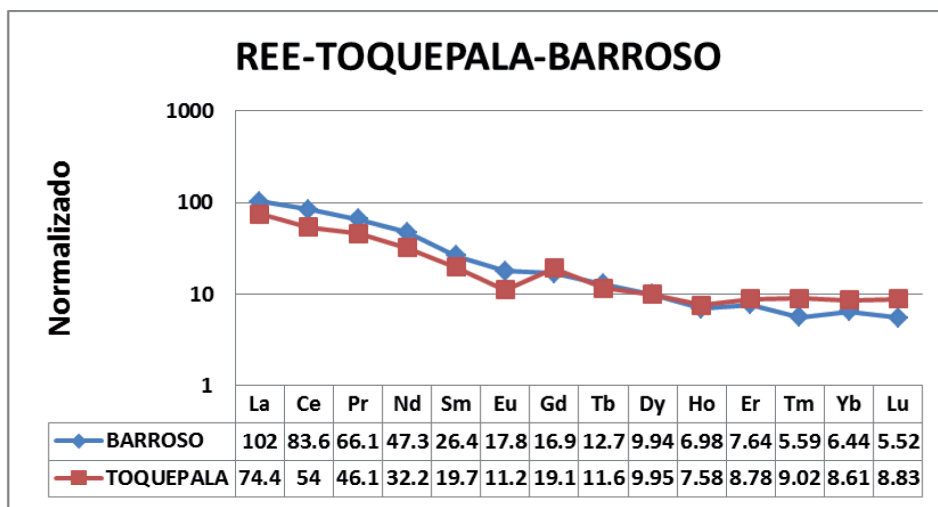


Figura N.º 13. Análisis correlacional de REE entre Grupo Toquepala y Barroso

**2.2.2 Variación lateral y litológica de las REE en Grupo Toquepala**

De acuerdo a su ubicación geográfica se tomaron muestras del oeste (23, 19, 27), centro (21, 5, 25) y este (28, 17, 6) de los afloramientos del Toquepala arrojando los valores normalizados de la Tierras Raras (REE) los siguientes espectros: los valores de las TR en el centro de los afloramientos son más altos en los que se refiere a TR ligeras y TR pesadas, seguido de los afloramientos del Este y por último valores bajos en el Oeste. En los últimos sectores la diferenciación en Tierras raras no es tan distintiva (Fig. No. 14a).

Con respecto a la concentración de las Tierras raras de acuerdo a las litologías (Fig. No. 14b) predominando en el Grupo Toquepala se observa que los traquibasaltos (Centro) tienen la mayor concentración de TR ligera y pesada, seguida de la andesita (Este) y por último la riolita (Oeste), abundancias coincidentes con la concentración de acuerdo a la posición geográfica de los afloramientos. La abundancia de las TR es también coincidentemente mayor en las rocas básicas, luego con las intermedias y por último en menor cantidad en las rocas ácidas o félsicas.

La anomalía negativa de Eu es más resaltante en el Oeste de los afloramientos y en las riolitas.

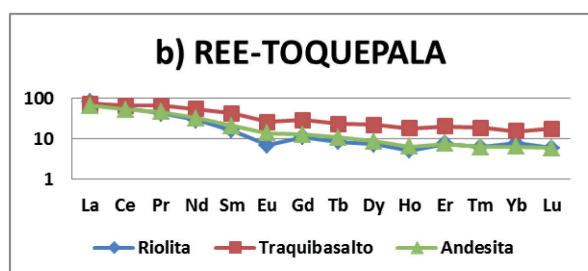
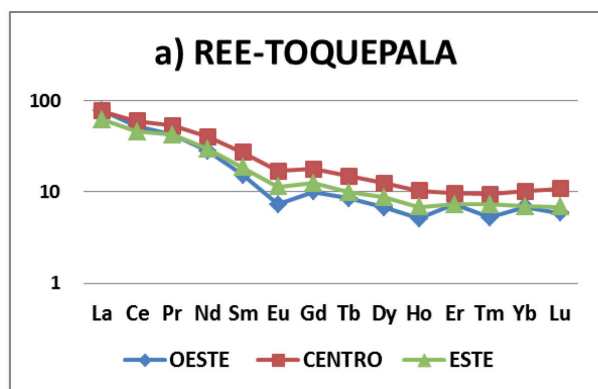


Figura N.º 14. Variación lateral (a) y litológica (b) del Grupo Toquepala

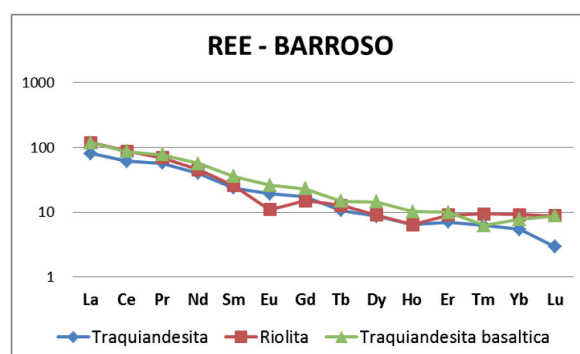
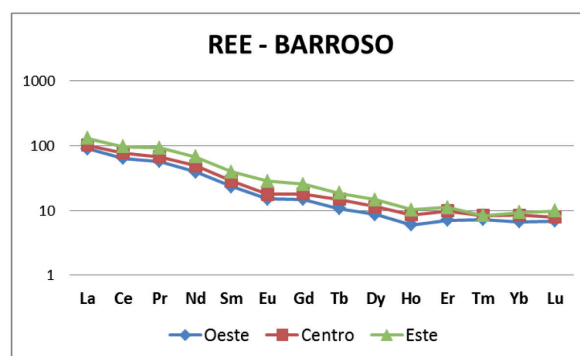


Figura N.º 15. Variación lateral (a) y litológica (b) del Grupo Barroso

### 2.3. Variación lateral y litológica de las REE en Grupo Barroso

Con respecto a la concentración de las Tierras raras de acuerdo a las litologías (Fig.No.15a) predominando en el Grupo Barroso observa que los traquiandesitas basáltica (Este) tienen la mayor concentración de TR ligera y pesada, seguida de la riolita(Centro) y por último la traquiandesitas (Oeste), abundancias coincidentes con la concentración de acuerdo a la posición geográfica de los afloramientos. La abundancia de las Tierras raras es mayor en las rocas básicas, luego en ácidas y por último en intermedia.

De acuerdo a su ubicación geográfica se tomaron muestras del oeste (27, 49, 30), centro (48, 73, 22) y este (46, 29, 45) de los afloramientos del Barroso arrojando los valores normalizados de la Tierras Raras (REE) y ploteadas en papel semilogaritmo los siguientes espectros (Fig. No. 15b): los valores de las TR en el Este de los afloramientos son más altos en los que se refiere a TR ligeras y TR pesadas, seguido de los afloramientos del centro y por último valores bajos en el Oeste. En los sectores la diferenciación en Tierras raras pesadas no es tan distintiva como en las Tierras raras ligeras que son notorias. La anomalía negativa de Eu es notoria solo en las riolitas que indica que hay una cristalización diferenciada de plagioclasas.

#### 2.3.1. Diagrama de proporciones de Tierras Raras y variantes

Las proporciones de LREE y HREE y sus variantes- elementos trazas- fueron normalizadas según los valores de MORB (Middle Oceanic Ridge Basalt), (Sm, Yb, Sr, Rb) según Pearce y (La) según Bevins y los demás se efectuaron sus cálculos en ppm y en porcentaje de acuerdo a sus análisis.

En la Fig. 16 las proporciones de La/Yb(n) muestra valores entre 4 y 27 y  $>0.8$  a  $<1.2$  en Yb en el Grupo Toquepala y en el Grupo Barroso de 6 a  $<60$  en La/Yb(n) y  $<0.8$  a  $<3.5$  en Yb. En el gráfico La/Sm vs La/Yb muestra una proporción de 2 a  $<8$  en La/Sm(n) y valores de la/Yb(n) de  $<1$  a  $>40$  y una proporción de  $<3$  a  $>7$  y de 1 a  $>8$  en La/Yb(n).

La proporción La/Yb(n) vs Yb en Toquepala muestra valores entre 10 y 20 ppm en la La/Yb sugiriendo contaminación cortical y además se puede interpretar que la corteza se engrosó probablemente más allá de los 40 Km de grosor, mientras que en el Barroso muestra valores por encima de 20 en La/Yb(n) que nos indica menor contaminación cortical.

Los altos contenidos de Rb  $>40$  ppm y Sr  $>800$  ppm en el Toquepala y de  $<1$  a  $>200$  de Rb y  $>7$  a 1335 ppm en sr en el Barroso, nos indica una fuerte



asimilación y diferenciación de los magmas de los dos Grupos de volcánicos.

El leve incremento de la proporción  $La/Yb(n)$  es compatible con el incremento de  $SiO_2$  a partir de 60% hasta 75% y luego decae en el Toquepala y una leve disminución a partir del 60% hasta 75% en el Barroso

La pendiente negativa de  $La/Yb(n)$  indica un fraccionamiento del Yb desde 1.1 hasta 8.33 en Toquepala y desde 0.8 a 2.4 en el Barroso. Los valores de Yb en Toquepala tiene un mayor rango de dispersión

de 1 a 4 ppm mientras que el Barroso los valores se concentran entre el rango de 1 a 2.5 ppm.

Todo este análisis de las proporciones  $La/Yb(n)$  vs Yb nos conducen que el Grupo Toquepala deba a sus contenidos mencionados a la contaminación durante el engrosamiento de la corteza en el Cretáceo sobre >40 Km de grosor, mientras los valores del Barroso indica menor contaminación cortical. Los contenidos de Sr y Rb nos indican una fuerte asimilación y diferenciación de los magmas en ambos Grupos de volcánicos.

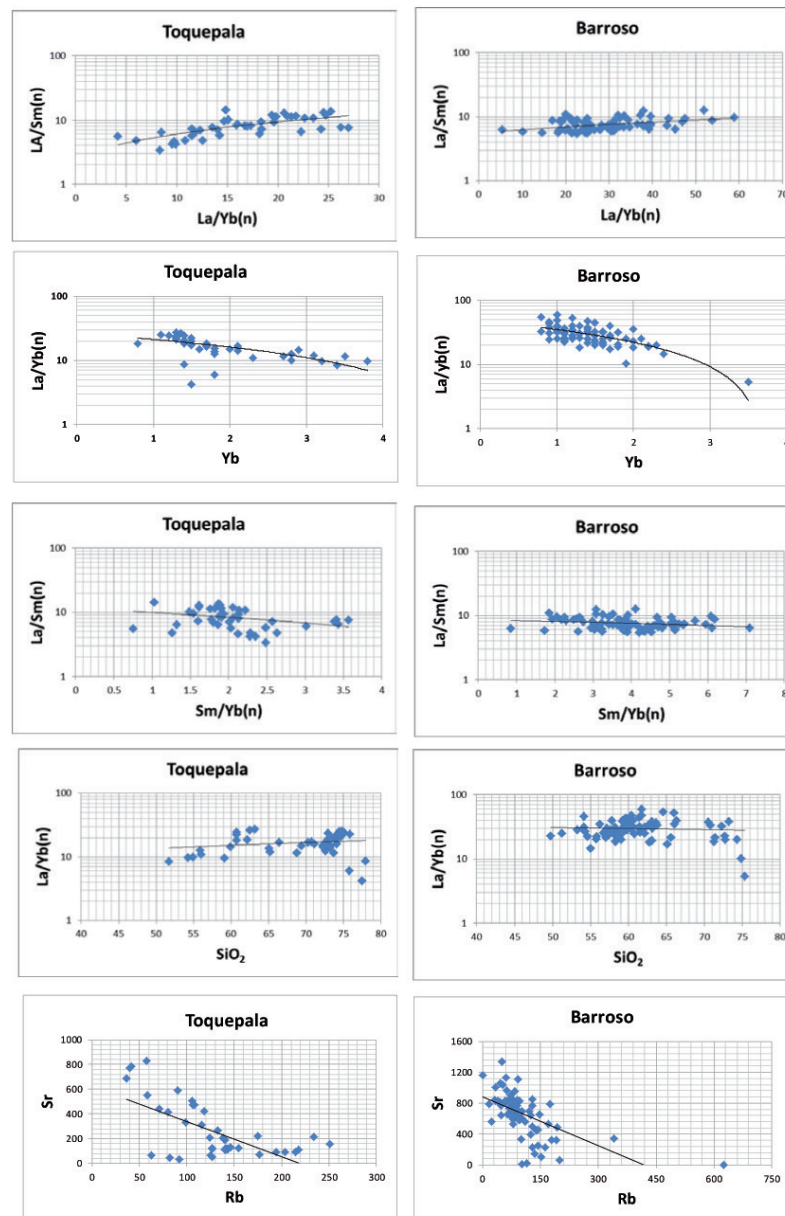


Figura N.º 16. Diagramas de proporciones de Tierras Raras y variantes de los Grupos Toquepala y Barroso.

**2.3.2 Diagramas multielementales**

Los diagramas multielementales normalizados están basados sobre un grupo de elementos incompatibles con respecto a la mineralogía del manto, ellos son una extensión de los tradicionales diagramas de REE normalizados a las condritas que son más familiares.

Los elementos están ordenados de modo que los más móviles (Sr, K, Rb, y Ba) se colocan en la parte izquierda del diagrama y en orden creciente de incompatibilidad. Los elementos inmóviles están dispuestos de derecha a izquierda con el fin de aumen-

tar la incompatibilidad. Los valores de normalización utilizado por Pearce (1983) se toman de la MORB promedio de Pearce et al (1981).

La Fig. 17 es un diagrama spider multielemental que nos muestra un enriquecimiento de los elementos LILE (<100) y un empobrecimiento de elementos HFSE menor de 10, anomalías negativas de Nb y anomalías positivas de Th, Ce, que nos indica que ambos Grupos de Volcánicos están relacionados a un marco tectónico de subducción de placas.

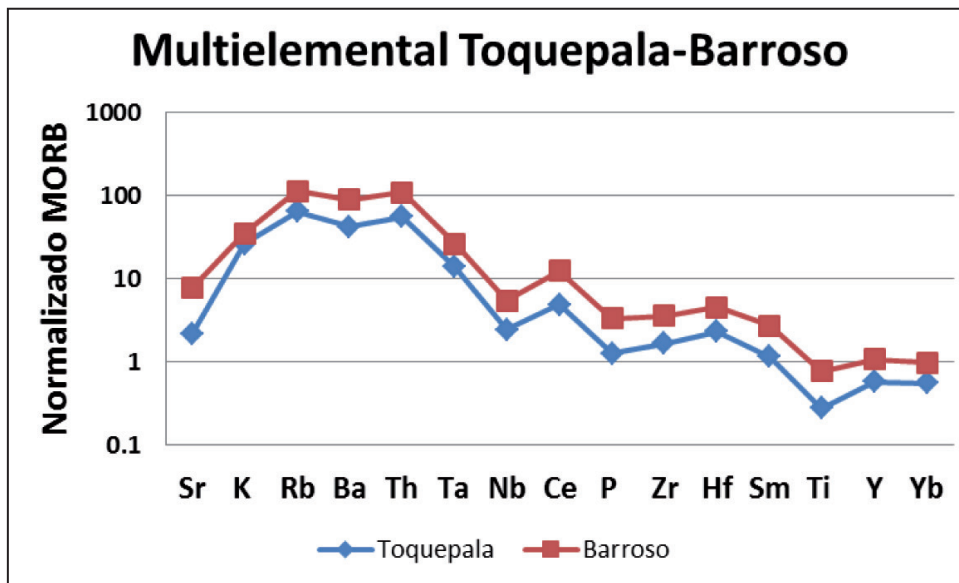


Figura N.º 17. Diagrama Multielemental Barroso-Toquepala.

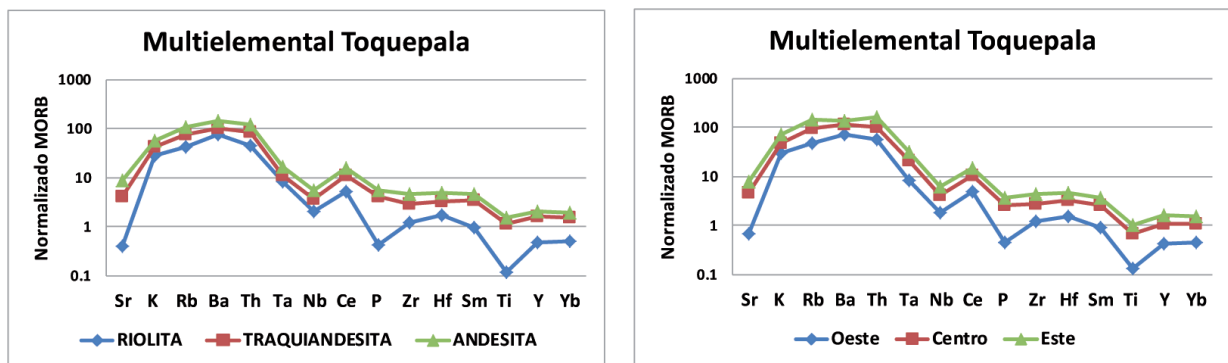


Figura N.º 18. Diagramas Multielemental litológico y lateral Grupo Toquepala

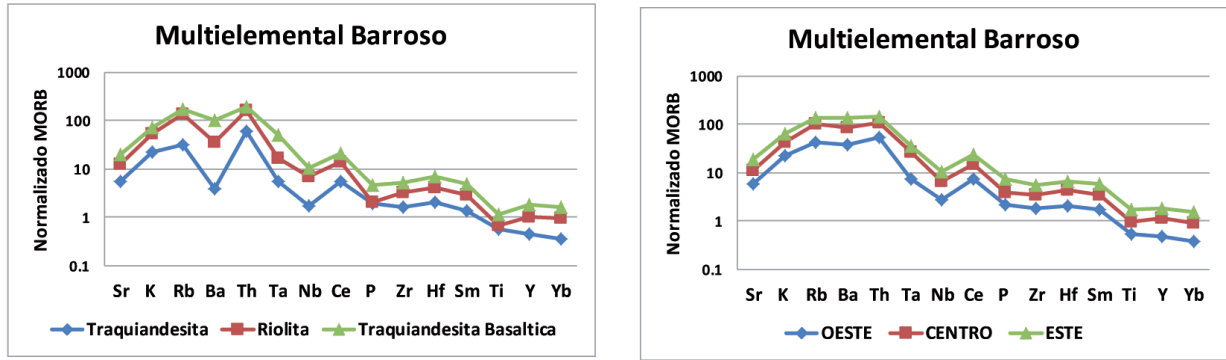


Figura N.º 19. Diagramas Multielemental litológico y lateral del Grupo Barroso

Las Fig.18 y 19 muestran el espectro multielemental tanto en las diferentes litologías y su posición geográfica, tanto para el Toquepala y Barroso. Se denota que los multielementos se incrementan hacia el Este en ambos Grupos, con respecto a las litologías se incrementan desde ácida a intermedias en Toquepala, mientras que en el Barroso se incrementan en rocas básicas disminuyendo en rocas ácidas y en rocas intermedias son menores los contenidos.

**2.3.3 Diagramas de Elementos de Transición**

Los elementos de la primera serie de transición (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn) varían en el estado de valencia y propiedades geoquímicas (Fig.20). Se usó el ploteo de los metales de transición, salvo

el Cr, normalizando con los valores de Sun (1982) C1 condritos. Ellos muestran un agotamiento del V, Mn, Co, presentando una anomalía positiva de Ti, Fe, Cu y Zn y una anomalía negativa de Ni en ambos Grupos de volcánicos. El Co y Ni se omiten debido que son muy variables y sus concentraciones muy bajas no reflejan los valores ígneos originales.

En resumen, los elementos Cu y Zn puede ser muy móviles durante el metamorfismo y la alteración y sus concentraciones pueden diferir de los patrones petrogénicos. La anomalía negativa en la concentración de Ni puede reflejar el papel de olivino (Ni). El Ni y Cu también se pueden concentrar en sulfuros en las masas fundidas. La anomalía de Ti indica el papel de los óxidos de Fe-Ti.

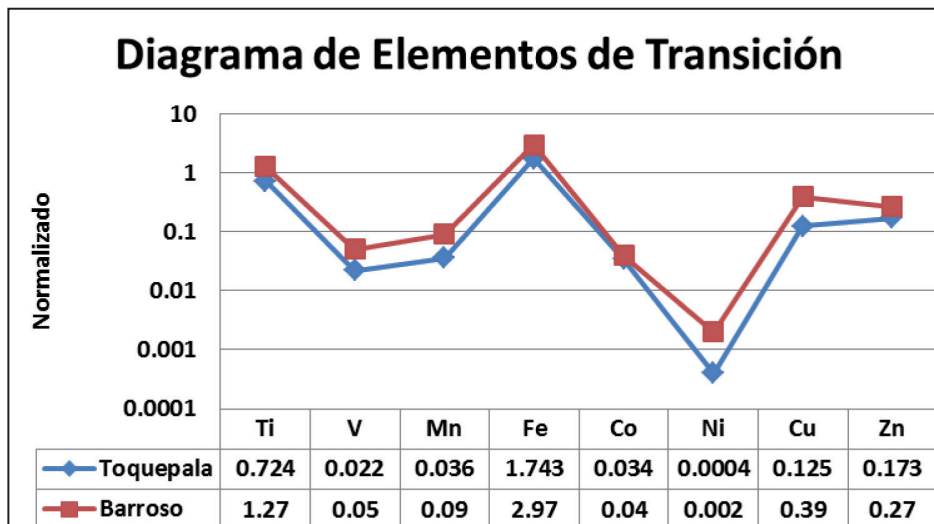


Figura N.º 20. Diagramas de elementos de transición de los Grupos Toquepala y Barroso

En líneas generales con respecto a este diagrama de metales de transición el Grupo Barroso presenta una mayor concentración de estos elementos con relación al Grupo Toquepala y sus contenidos son a nivel de elementos trazas menores de 1 ppm.

Como un medio de investigar se ploteo los elementos o metales de transición de índole económico (Fig.21),

para conocer su comportamiento geoquímico de dispersión primaria y es así que en el Grupo Barroso hay anomalías positivas de V, Zn y W y un agotamiento de Co, Ni, Ag y Sn y en el Grupo Toquepala tiene anomalías positivas también en V, Zn y W. En líneas generales la concentración de estos elementos es más notoria en el Grupo Barroso con respecto al Grupo Toquepala.

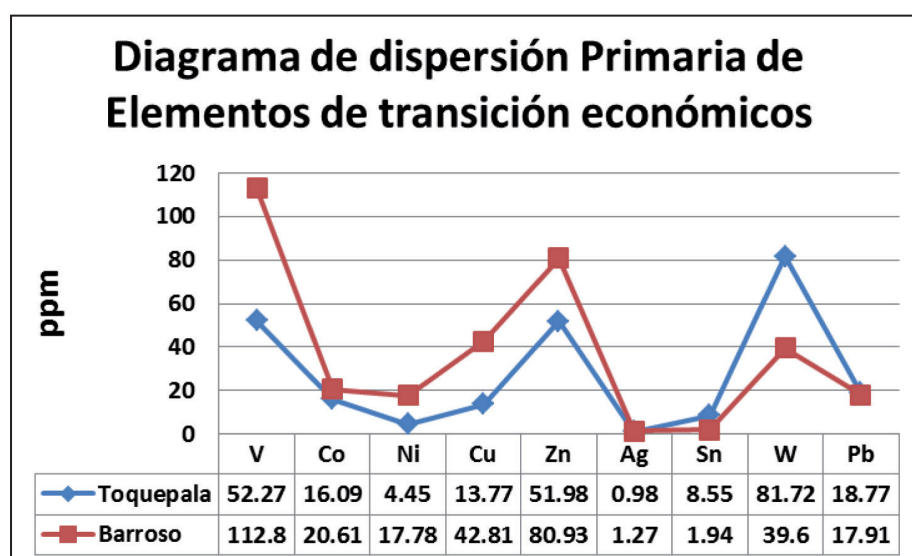


Figura N.º 21. Diagrama de dispersión primaria de elementos de transición económicos.

### III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad de conocer el comportamiento de los elementos mayores, menores y trazas y además de los compuestos químicos expresados en óxidos, contenidos en muestras de rocas volcánicas pertenecientes al Volcánico Toquepala y Volcánico Barroso ubicados en el sur del Perú.

Se intentó a través del comportamiento geoquímico de dichos elementos confirmar o descartar el origen, la evolución y clasificación del magmatismo volcánico desde el Cretáceo al Terciario.

Normalmente no se estudia una sola roca, sino varias rocas que están relacionadas entre sí de alguna forma, tanto espacial como temporal, como se presenta en esta investigación.

Este estudio geoquímico de las rocas es complementario al estudio petrográfico microscópico, porque éste muchas veces es incompleto, dado que la mayoría de los minerales admiten considerables sustituciones de otros elementos compatibles tanto en su radio iónico o carga eléctrica, resultando que podemos encontrar rocas de igual composición mineralógica pero con una distinta composición química.

Por ello esta investigación geoquímica basada en análisis químico debe estar acompañada de estudios petrográficos, porque es un complemento necesario en la investigación petrogenética de las rocas.

### IV. CONCLUSIONES

1. Que el análisis de saturación de alúmina, las rocas volcánicas en su mayoría en el Grupo Toquepala son de naturaleza Peraluminosa y las rocas del Grupo Barroso son Metaluminosa.
2. Que el análisis del grado de oxidación, los volcánicos del Grupo Barroso contienen mayor porcentaje (+70%) de Fe total,  $Fe_2O_3$  total y FeO total que las rocas volcánicas del Grupo Toquepala, lo que indica que el Barroso ha sufrido mayor oxidación ya sea en último estadio de cristalización o en procesos posteriores.
3. Que el análisis de los elementos mayoritarios (óxidos) indica que hay un predominio en el Grupo Barroso de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , Feo,  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $Na_2O$  y en el Grupo Toquepala solo en  $SiO_2$  y  $K_2O$ . Los rangos de variación sugieren un grado de evolución por cristalización fraccionada en ambos Grupos de volcánicos.

4. Los diagramas Harker de los elementos mayoritarios (óxidos) se interpreta como un fraccionamiento lineal independiente para ambos Grupos, marcado en el punto 68% de  $\text{SiO}_2$  en Toquepala y 61% de  $\text{SiO}_2$  en el Barroso. En ambos Grupos muestran un fraccionamiento del potasio (K) en el tiempo enriqueciéndose en este álcali con el incremento de la sílice, mientras que los demás óxidos disminuyen con el incremento de la sílice.
5. Las correlaciones de los óxidos mayores en el Grupo Barroso confirman una buena correlación negativa entre el  $\text{SiO}_2$  y los demás óxidos y una correlación positiva con el  $\text{K}_2\text{O}$ , mientras que en Grupo Barroso el  $\text{SiO}_2$  tiene correlaciones muy bajas y muchas de ellas no tienen buena correlación.
6. El análisis de los diagramas sílice vs álcalis total (TAS) muestran en el Grupo Toquepala una diferenciación que abarca mayormente el campo de las riolitas (>70% de  $\text{SiO}_2$ ) seguido de dacita/traquidacita y en menor cantidad andesita a andesita basáltica. Mientras que el Grupo Barroso varía de mayor a menor traquiandesitas/andesita, dacita/traquidacita, riolita y andesita basáltica/traquiandesitas basáltica.
7. El análisis de los diagramas Irvine-Baragar ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) nos indican que ambos Grupos de volcánicos son de naturaleza subalcalinas
8. El análisis de los diagramas de Ringwood ( $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$ ) nos indican que ambos Grupos son de la Serie Calcoalcalina de alto Potasio
9. El análisis de los diagramas de Tierras Raras (REE) normalizadas a los valores Wakita nos indican que ambos Grupos de volcánicos derivan de una cristalización fraccionada, en donde hay un enriquecimiento de tierras raras ligeras (LILE) mayor de 10 y un empobrecimiento de tierras raras pesadas (HFSE) menor de 10, que nos indican que provienen de la fusión parcial de un manto con granate. La anomalía negativa del Europio (Eu) en el Toquepala se estima como producto del fraccionamiento de plagioclasas mientras que en el Barroso no es evidente esta anomalía.
10. La variación lateral y litológica de la abundancia de las REE nos indica que en el borde Oeste de los afloramientos de ambos Grupos la abundancia es menor, mayor abundancia es en el centro en Toquepala y borde este en el Barroso. Con respecto a las litologías en el Toquepala el traquibasaltos posee mayor abundancia y en el Barroso en la traquiandesitas basáltica.
11. El análisis de los diagramas Proporciones de Tierras Raras y Variantes normalizadas a los valores MORB nos indican que el Grupo Toquepala deba sus contenidos a la contaminación durante el engrosamiento de la corteza terrestre durante el Cretáceo. Los contenidos de Sr y Rb nos indican una fuerte asimilación y diferenciación de los magmas en ambos Grupos de volcánicos.
12. El análisis de los diagramas Multielementales nos muestra un enriquecimiento de los elementos LILE (<100) y un empobrecimiento de elementos HFSE menor de 10, anomalías negativas de Nb y anomalías positivas de Th, Ce, que nos indica que ambos Grupos de Volcánicos están relacionados a un marco tectónico de subducción de placas. La abundancia de los multielementos es más abundante en su sector este de sus afloramientos en ambos Grupos.
13. El análisis de los diagramas de Metales de Transición normalizados a valores de Sun, el Grupo Barroso presenta una mayor concentración de estos elementos con relación al Grupo Toquepala y sus contenidos son a nivel de elementos trazas menores de 1 ppm.
14. El análisis de los diagramas de Metales de Transición Económicos para conocer su comportamiento geoquímico de dispersión primaria y es así que en el Grupo Barroso hay anomalías positivas de V, Zn y W y un agotamiento de Co, Ni, Ag y Sn y en el Grupo Toquepala tiene anomalías positivas también en V, Zn y W. En líneas generales la concentración de estos elementos es más notoria en el Grupo Barroso con respecto al Grupo Toquepala.

## V. AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a las Autoridades de INGEMMET por su colaboración en proporcionar la data geoquímica y los planos de ubicación del muestreo, además a las Autoridades del Vicerrectorado de Investigación y de nuestra Facultad por su apoyo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bellido, E y Guevara, C (1963): *Geología de los Cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesi*. Boletín No. 5 Serie A. Carta Geológica Nacional. INGEMMET
2. Fernández, S; Hernández, A (1991): *Cálculos y Diagramas Geoquímicos*. Univ. Complutense. Madrid.
3. INGEMMET (1995): *Geología del Perú*. Boletín No.55 Serie A: Carta Geológica Nacional.
4. Martínez, W et al (2003): *Rocas Ígneas en el sur del Perú; Nuevos datos geocronométricos*,

- geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16 y 18.30 latitud sur.* Boletín No 26 Serie D Estudios Regionales INGEMMET.
5. Mendivil, S (1965): *Geología de los Cuadrángulos de Maure y Antajave.* Boletín No.10 Serie A Carta Geológica Nacional. INGEMMET.
  6. Perales, F (1994): *Glosario y Tabla de correlación de las Unidades Estratigráficas del Perú.* Auspicio Sociedad Geológica del Perú
  7. Rollinson, H (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation.* Longman Scientific Technical and John Wiley & Sons. New York.
  8. UNESCO (1995): *A Global Geochemical Database: For environmental and resource Management.* Earth sciences 19 UNESCO publishing
  9. Bevins R.E, Kokelaar B.P and Dunnkley (1984) *Petrology and geochemistry of lower to middle Ordovician igneous rocks in Wales: a volcanic arc to marginal basin transition.* Proc. Geol.ass, 95,337-347
  10. Pearce J.A (1983) *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins.* In Hawkesworth C.J. and Norry M.J. (eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths.* Shiva; Nantwich. Pp 32, 230-249.
  11. Saunders A.D and Tarney J (1984) *Geochemical characteristic of basaltic volcanism within back-arc basins.* In Kokelaar B.P and Howells M.F. (eds.). *Marginal basic geology.* Spec Publ. Geol. soc. London 16, pp 59-76
  12. Sun S.S. and Nesbitt R.W (1977) *Chemical heterogeneity of the Archean mantle, composition of the earth and mantle evolution.* Earth Planet. Sci. Lett., 35, 429-448.
  13. Sun S.S. (1982) *Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle.* Geochim. cosmochim. Acta, 46, 179-192.