

VARIACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE LOS BATOLITOS DE LA CORDILLERA BLANCA (ÁNCASH) Y AMBO-OXAPAMPA AL SUR DE HUÁNUCO

LITHOGEOCHEMISTRY VARIATION THE CORDILLERA BLANCA (ANCASH) AND AMBO-OXAPAMPA BATHOLITHS TO THE SOUTH HUÁNUCO.

Hugo Rivera*, Jorge Chira*, Néstor Chacón*, Erik Suyo**, Celis Varillas**

RECIBIDO: 23/03/2014 – APROBADO: 11/04/2014

RESUMEN

Los batolitos Cordillera Blanca (BCB) y Ambo-Oxapampa (BAO) consisten de granitos, tonalita, granodiorita y monzonita; son de naturaleza subalcalina, de las series calcoalcalinas de alto potasio, de carácter peraluminoso, con excepción del BCB que varía a metaluminoso. La relación SiO_2 vs. Sm/Yb permite determinar que el BAO es más antiguo, seguido por el BCB. Los diagramas de variación tipo Harker presentan correlaciones negativas de la sílice con la mayoría de los óxidos, con excepción del Na y K que tienen correlaciones positivas. Geoquímicamente, se pueden clasificar provenientes de magmas félsicos. Los diagramas tectomagmáticos muestran que el BCB cae en el campo de granitos de arco volcánico, las rocas del BAO están en el límite de los campos de granito de arco volcánico e intraplaca y ambos caen en el campo de los granitos de arco continental. Los elementos traza y tierras raras también muestran características típicas de rocas asociadas a subducción, con un enriquecimiento de TRL (<100) con respecto a TRP (<10). Con respecto a la relación con la mineralización, nos muestran que los batolitos provienen de magmas húmedos y con tendencia peraluminosa y que caen en el campo de la corteza continental o primitiva y de los granitos tipo "I" y de la serie de la magnetita y su relación con la mineralización, el batolito Ambo-Oxapampa cae en el campo de Mo y el batolito Cordillera Blanca cae en el campo de los polimetálicos Zn-Pb-Ag.

Palabras clave: Geoquímica magmática, tectomagmático, elementos mayores, traza, tierras raras.

ABSTRACT

The Cordillera Blanca (CBB) and Ambo-Oxapampa (AOB) Batholiths consist of granites; tonalite, granodiorite and monzonite, are subalkaline nature of the high potassium calc-alkaline series, of character peraluminous except CBB that varies metaluminous. The SiO_2 vs Sm/Yb determines the AOB is older followed by the CBB. Variation Harker Type diagrams show negative correlations between silica with other of the oxides with the exception of Na and K which have positive correlations. Geochemically can be classified from felsic magmas. Tectomagmatic diagrams showed that the CBB fall in the field of volcanic arc granites and the AOB fall on the edge of the fields volcanic arc granites and intraplate granites and both fall in the field of Continental Arc Granites. The trace and rare earth elements also exhibit characteristics typical rocks associated subduction because of enrichment LREE (<100) with respect to HREE (<10). With regard to the relationship with the mineralization in accordance with the relations of the alumina and Eu show us that Batholiths come from wet magmas and peraluminous trend. Ratios Eu / Eu^* vs. FeO show both Batholiths falling in the field of continental or primitive crust and granites type "I" and the series of magnetite and its relation to mineralization, AOB falls in the field of Mo, and the CBB fall in polimetalllic Zn-Pb-Ag.

Keywords: Igneous geochemistry, tectomagmatic, major elements, trace, REE.

* Docentes de EAP Ingeniería Geológica. E-mail: hrivram@unmsm.edu.pe

** Alumnos de la EAP Ingeniería Geológica.

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 intrusivas pertenecientes a los batolitos de la Cordillera Blanca en Áncash y Ambo-Oxapampa en Huánuco, en el centro 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 alcalisilíce), diagrama de Hacker, clasificación por saturación de sílice y alúmina; y caracterizar geoquímicamente los intrusivos y encontrar sus ambientes geotectónicos, sus diferenciación química y su relación con la mineralización de la región.

II. ÁREA DE ESTUDIO

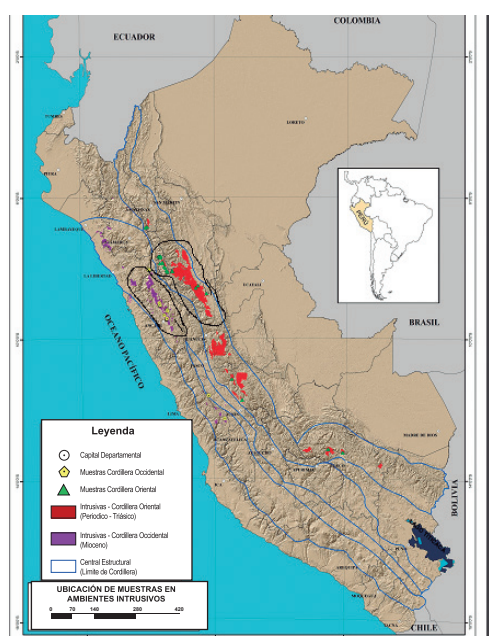


Figura N° 1. Plano de ubicación de muestras de rocas intrusivas de los batolitos de la Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa.

El área de estudio se encuentra entre los paralelos 7° y 12° latitud sur y comprende a los departamentos de Áncash y Huánuco (Figura N° 1). En esta área, INGEMMET recolectó 49 muestras de rocas intrusivas pertenecientes al batolito de la Cordillera Blanca (Áncash) y Miskovic (2009) recogió 34 muestras del denominado batolito de Ambo-Oxapampa. Fueron analizadas todas ellas por el método ICP, incluyendo los óxidos mayores (08), menores (03) y trazas (35). La presente investigación se lleva a cabo con el doble fin de caracterizar geoquímicamente y efectuar el análisis correlacional de los batolitos a investigar.

III. GEOLOGÍA REGIONAL

3.1. Batolito Cordillera Blanca

El batolito de la Cordillera Blanca es un complejo plutónico que aflora ampliamente y se ubica en la parte central de la cordillera occidental, con un rumbo aproximadamente

paralelo a las estructuras principales de la región. El afloramiento del batolito tiene aproximadamente 200 km de largo, el ancho es de 12 a 15 km, aunque la distribución de las apófisis relacionadas indica que el complejo intrusivo afecta un ancho de 30 a 35 km.

Se pueden apreciar algunos de los tipos de rocas que constituyen el complejo plutónico y sus relaciones generales (Wilson J. et al., 1967). La gran masa del batolito consiste de una granodiorita leucócrata de grano grueso, que en algunas áreas muestra una foliación bien desarrollada. Este complejo está constituido de granodiorita, cortado en algunas áreas por granito con ortosa rosada. En algunos casos se nota todavía la forma de los xenolitos digeridos, mientras que en otros se encuentra anfibolita homogénea y uniforme. Las edades obtenidas en el batolito de la Cordillera Blanca (Cobbing et al., 1996) varían de 4.6 a 16 MA, determinadas por el método K/Ar sobre biotitas. (Wilson, P, 1975) ha considerado las edades de 4.6 a 9.0 MA, sin embargo, otros han obtenido una edad de U-Pb de 9 a 12 MA, que indica una edad de Mioceno medio a superior.

3.2. Batolito Ambo-Oxapampa

Las rocas intrusivas al sur de Huánuco han sido divididas por (Quispesivana, 1996) en batolito de Higuera, plutón de Chacamarca y plutón de Tres Alcantarillas. Estos cuerpos han recrystalizado a las rocas encajonantes principalmente a los esquistos metamórficos. Su composición mineralógica varía desde granodiorita, tonalita, diorita, hasta adamelita. En algunos casos se presentan ciertas deformaciones por la actividad tectónica que afectó al área. Por sus correlaciones se les considera de una edad paleozoica (Quispesivana, 1996). Según Miskovic (2009), reporta una edad de Permo-Triásico.

IV. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS Y CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS MAYORES

Los diagramas de variación son usados con diferentes propósitos en petrología. Tienen la ventaja de ser más sencillos de interpretar que los números globales en las tablas de geoquímica, que, a primera vista, pueden ser difíciles de leer e interpretar. Gracias a estos diagramas se pueden observar con facilidad comportamientos y tendencias petrológicas que aporten información relevante en procesos petrológicos, como la cristalización fraccionada, fusión parcial o líneas de mezcla. En este trabajo se utilizan los diversos diagramas de uso geoquímico, tanto de elementos mayores y elementos traza.

4.1. Grado de oxidación

En los estudios geoquímicos interesa conocer el hierro total de las rocas, expresado unas veces como FeO y otras como Fe₂O₃, para conocer el grado de oxidación. El resultado de las transformaciones del Fe⁺³ y Fe⁺² arrojan un notorio incremento del Fe total, Fe₂O₃ y FeO en los intrusivos del batolito Cordillera Blanca, comparando con los del batolito Ambo-Oxapampa, debido a que las rocas intrusivas de este batolito ha sufrido una oxidación, ya sea en un último

estadio de cristalización o en procesos posteriores, tales como alteraciones hidrotermales, etc.

4.2. Correlaciones de Pearson

Las correlaciones de los óxidos mayores en los batolitos de la Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa confirman que hay una buena correlación negativa (que disminuyen con el incremento de la sílice) entre el SiO₂ con TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO y P₂O₅. Se diferencia el batolito Cordillera Blanca por presentar una baja correlación positiva (que incrementa con el aumento de la sílice) con el Na₂O y K₂O. Mientras que el batolito Ambo-Oxapampa presenta muy baja correlación, con rangos menores al r <0.5, es decir, no hay una buena correlación con Na₂O, solo con alta correlación positiva con K₂O.

4.3. Diagramas de Harker

En las concentraciones de elementos mayoritarios o mayores entre estos dos batolitos, hay un ligero predominio en abundancia promedio en el batolito de la Cordillera Blanca en Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O y P₂O₅ y en el batolito Ambo-Oxapampa SiO₂, FeO, Na₂O. Las sumas de óxidos nos indican que los valores de alcalinotérreos y los álcalis son mayores en el batolito de la Cordillera Blanca y en el batolito Ambo-Oxapampa son mayores en la suma del hierro. Estos rangos de variación sugieren un grado de evolución por cristalización fraccionada de minerales ferromagnesianos y plagioclasas cálcica. Las correlaciones negativas entre el SiO₂ y P₂O₅ y TiO₂ corroboran también la evolución por cristalización fraccionada en ambos grupos de intrusivos. La caracterización geoquímica de los elementos mayoritarios a través de los diagramas Harker se interpreta como un fraccionamiento lineal independiente para los dos grupos de intrusivos fuertemente marcado en el punto 65% de SiO₂ en el batolito Ambo-Oxapampa y 63% en SiO₂ en el batolito de la Cordillera Blanca.

4.4. Diagrama sílice vs. álcalis total-TAS

El batolito de Ambo-Oxapampa, según el diagrama TAS, de Le Bas 1986 (Figura N° 2), muestra una diferenciación magmática que abarca mayormente el campo de los granitos (79%), seguido de una serie de rocas de naturaleza granodiorita (18%) y en menor proporción rocas tonalitas (3%). El batolito de la Cordillera Blanca (Figura N° 3) abarca mayormente el campo de los granitos normales y granitos alcalinos (65%), seguidos de una serie de rocas de naturaleza granodiorita (24%) y en menor proporción rocas monzonitas (11%). En líneas generales, ambos batolitos están constituidos de rocas félsicas.

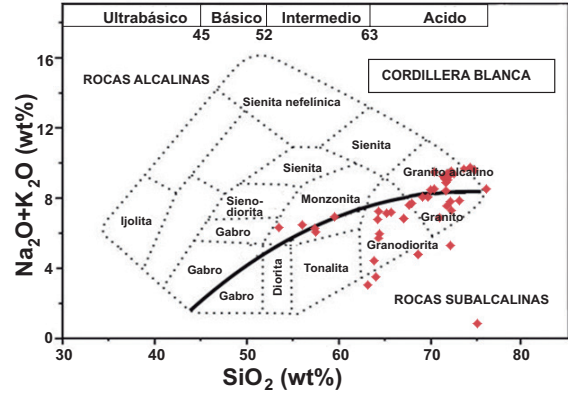


Figura N° 2. Diagrama TAS y de Irvine-Baragar del batolito de la Cordillera Blanca.

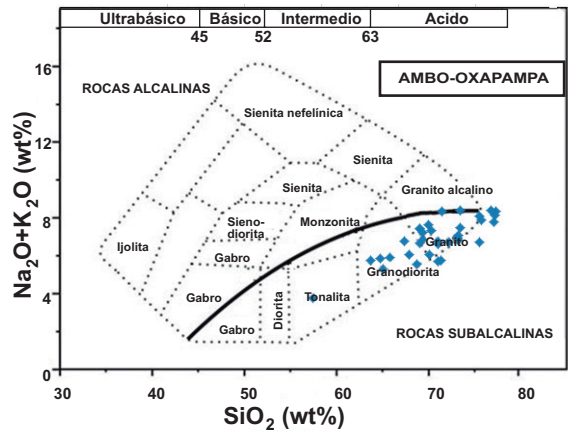


Figura N° 3. Diagramas TAS y de Irvine-Baragar del batolito Ambo-Oxapampa.

4.5. Diagrama de Irvine-Baragar: SiO2 vs K2O+Na2O

Las rocas del batolito Ambo-Oxapampa, de acuerdo al Diagrama de Irvine-Baragar SiO₂ vs K₂O+Na₂O (Figura N° 3), corresponden en su totalidad a la serie subalcalina. Mientras que las rocas del batolito Cordillera Blanca (Figura N° 2) corresponden mayormente a la serie subalcalina, existe alguna proporción de rocas alcalinas, por ello se diferencian de las rocas del batolito Ambo-Oxapampa.

4.6. Diagrama RI-R2

El diagrama R1-R2 de De la Roche et al. (1980) propone un esquema de clasificación para rocas plutónicas basado en la proporción de milicaciones. Aunque el diagrama R1-R2 es poco popular, se le considera como muy útil y preciso, ya

que para introducir los análisis en el diagrama se utilizan ocho variables (elementos mayores) como parámetros. Esto es importante, pues involucra mayor cantidad de elementos a usar en el diagrama, arrojando una clasificación más precisa y robusta. Los parámetros R1 y R2 se obtienen de las siguientes fórmulas: Donde Fe involucra la suma del hierro ferroso y hierro férrico,

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

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

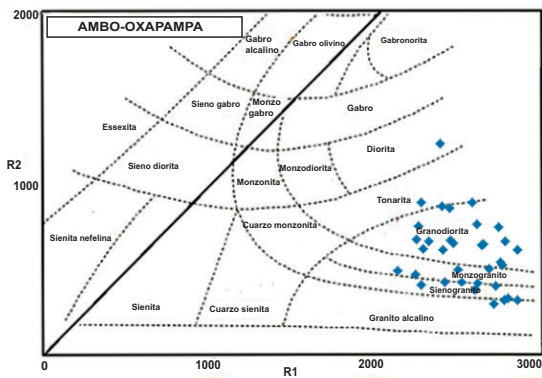


Figura N° 4. Clasificación de milicaciones R1-R2 (De la Roche et al., 1980) para el batolito Ambo-Oxapampa.

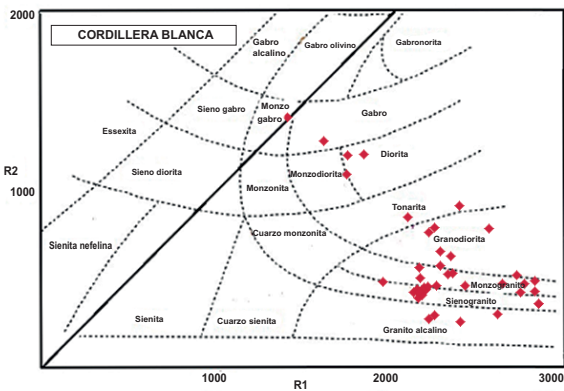


Figura N° 5. Clasificación de milicaciones R1-R2 (De la Roche et al., 1980) para el batolito Cordillera Blanca.

El batolito Ambo-Oxapampa, de acuerdo al diagrama R1-R2 (Figura N° 4), caen en los campos del granito alcalino, sienogranito y monzogranito, y mayoritariamente en la granodiorita y en menor proporción en la tonalita y diorita; por lo tanto, todas las rocas de este batolito son de naturaleza félsica.

El batolito Cordillera Blanca (Figura N° 5) cae en los campos del granito alcalino, sienogranito, monzogranito

y granodiorita, en mayor proporción y algunas muestras caen en el campo de la tonalita, diorita y gabro en menor proporción. En líneas generales, se puede considerar que las rocas de este batolito son de naturaleza félsica, diferenciándose de las rocas del batolito Ambo-Oxapampa, debido a que muestra una gran variedad petrográfica.

4.7. Diagrama de Ringwood: SiO₂ vs. K₂O

La subdivisión de las rocas subalcalinas, dada por Irvine-Baragar, se dividen usando el diagrama de Ringwood: K₂O vs. sílice en rocas de la serie calcoalcalina, de alto, medio y bajo contenido de potasio (K). En el batolito Ambo-Oxapampa (Figura N° 6) la clasificación geoquímica de las rocas subalcalinas es de la serie calcoalcalina de alto potasio en gran proporción variando a media y algunas muestras caen en el campo bajo contenido de potasio.

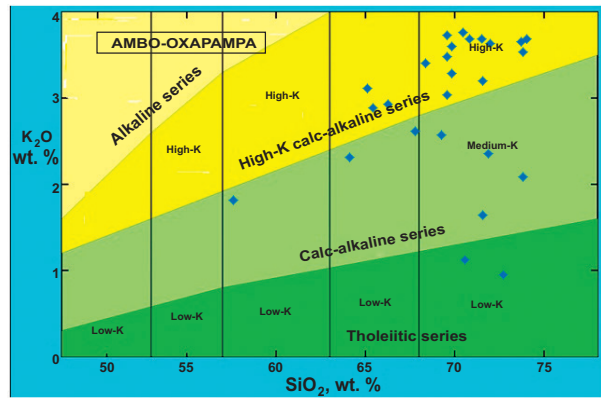


Figura N° 6. Clasificación de las rocas subalcalinas del batolito Ambo-Oxapampa.

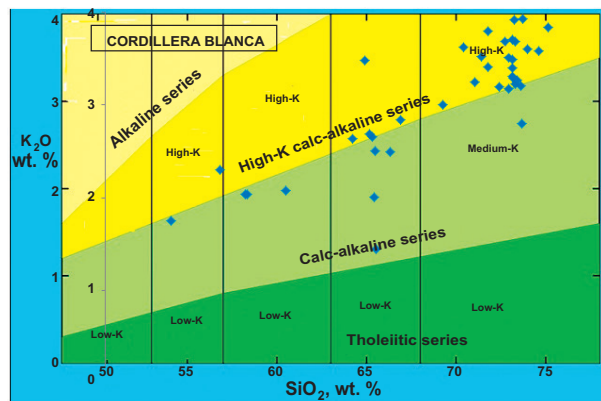


Figura N° 7. Clasificación de las rocas subalcalinas del batolito Cordillera Blanca.

Con respecto el batolito Cordillera Blanca (Figura N° 7), la clasificación geoquímica de las rocas subalcalinas corresponde a la serie calcoalcalina de alto potasio en su mayor proporción y en el campo de medio K en menor proporción, no habiendo ninguna roca de bajo potasio.

4.8. Saturación de alúmina

Los parámetros de clasificación se basan en los óxidos mayores de Al_2O_3 , CaO , K_2O y Na_2O recalculados en concentraciones molares. Las rocas intrusivas, de acuerdo a la clasificación de Shand (Figura N° 8), se clasifican en:

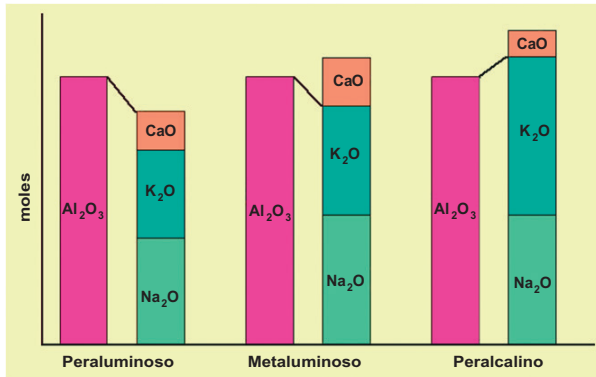


Figura N° 8. Clasificación de saturaciones de alúmina según Shand.

La Figura N° 9 muestra que en el batolito Ambo-Oxapampa, el total de las muestras son de saturación peraluminosa. Se entiende entonces que este batolito está sobresaturado en alúmina, por contener el aluminio más minerales ricos como cordierita, silimanita, andalucita, corindón. Mientras que el batolito Cordillera Blanca (Figura N° 10) varía entre saturación metaluminosa y peraluminosa, lo que se confirma gráficamente, diferenciándose por ello del batolito Ambo-Oxapampa.

El carácter peraluminoso de estas rocas del batolito Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa se debe a que han sufrido alteración hidrotermal del tipo sericítico, como también la probable inclusión de fragmentos líticos de rocas aluminicas.

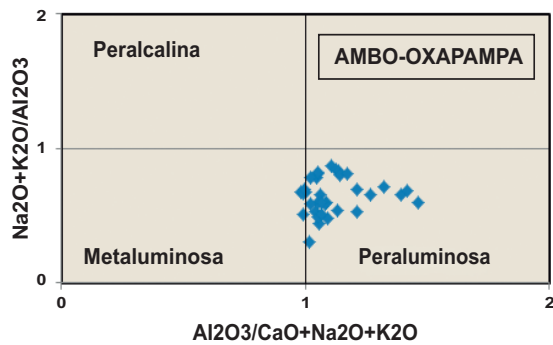


Figura N° 9. Saturación de alúmina en moles del batolito Ambo-Oxapampa.

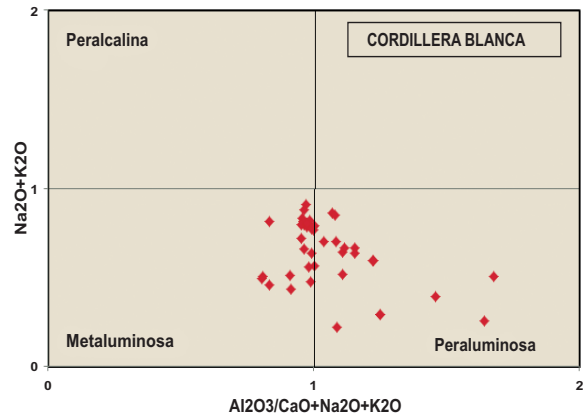


Figura N° 10. Saturación de alúmina en moles del batolito Cordillera Blanca.

V. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA: TIERRAS RARAS Y TRAZAS

5.1. Diagrama de tierras raras normalizadas

Los promedios de abundancia de tierras raras de ambos batolitos fueron normalizados de acuerdo al Índice de los condritos de Wakita, (tomado de Rollinson, 1993), 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).

Tierras Raras Normalizadas

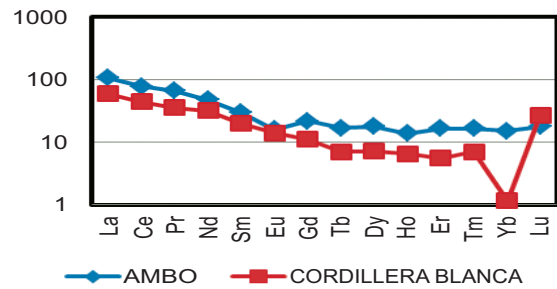


Figura N° 11. Tierras raras normalizadas de los batolitos Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca.

El diagrama spider (Figura N° 11) nos demuestran una cristalización fraccionada. En el batolito Ambo-Oxapampa hay un enriquecimiento en tierras raras ligeras -LREE- y

pesadas –HREE- en todo el espectro sobre el intervalo 10, lo que indica la no presencia de granate en la fuente. La ligera anomalía negativa del Eu con respecto al Sm y al Gd en el espectro normalizado de REE de este batolito se estima como indicadora de baja proporción en la separación de las plagioclasas por cristalización fraccionada de la roca fuente. En el batolito Cordillera Blanca hay un enriquecimiento de tierras raras ligeras y un empobrecimiento de tierras raras pesadas, con excepción de un enriquecimiento del Lu, que indica la presencia de granate en la fuente y con respecto a la anomalía negativa de Eu no es evidente esta, por lo que se estima que no hubo fraccionamiento de plagioclasas.

5.2. Diagramas spider multielementales

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 aumentar la incompatibilidad. La Figura N° 12 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 intrusivos están relacionados a un marco tectónico de subducción de placas.

Multielementos Normalizados

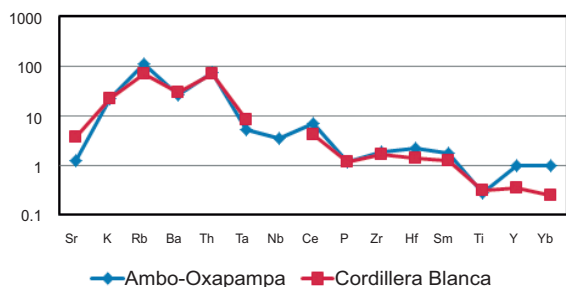


Figura N° 12. Diagrama multielemental batolitos Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca.

5.3. Variación litológica de la abundancia multielemental

El espectro multielemental muestra la abundancia en las diferentes litologías de los batolitos Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca. Con respecto a la abundancia, de acuerdo a las litologías en el batolito Ambo-Oxapampa (Figura N° 13), son más abundantes en las rocas ácidas, con respecto a los elementos más móviles y disminuyen en los elementos inmóviles en los granitos y granodioritas; en tanto que las tonalitas se enriquecen en los elementos inmóviles. Mientras que en el batolito Cordillera Blanca (Figura N° 14) se incrementan en rocas graníticas y granodioritas en elementos móviles y las monzonitas aumentan en elementos inmóviles.

Ambo-Oxapampa

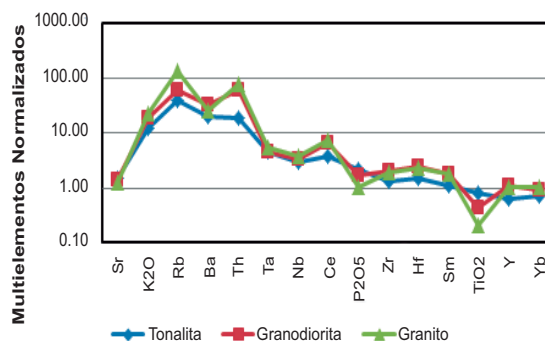


Figura N° 13. Abundancia elemental de acuerdo a la litología del batolito Ambo-Oxapampa.

Cordillera Blanca

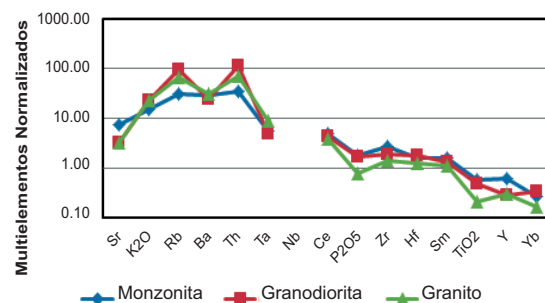


Figura N° 14. Abundancia multielemental de acuerdo a las litologías del batolito Cordillera Blanca.

5.4. Diagrama spider multielemental

La Figura N° 15 es un diagrama spider multielemental de los dos batolitos, que nos muestran un enriquecimiento de los elementos LILE (>10) hasta el elemento K₂O y un empobrecimiento de elementos HFSE menor de 10, desde el Nb hasta el Yb. Se aprecian anomalías negativas de Nb y anomalías positivas de U, Th y Ce en el batolito Ambo-Oxapampa, que nos indica que está relacionado a un marco tectónico de subducción de placas.

Multielementos Normalizados

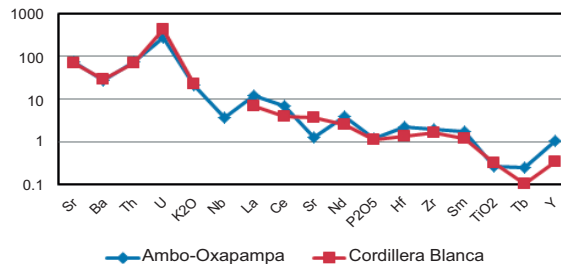


Figura N° 15. Abundancia multielemental de los batolitos.

5.5. Diagrama 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. En líneas generales, con respecto a este diagrama de metales de transición en dispersión primaria (Figura N° 16), el batolito Cordillera Blanca presenta una mayor concentración Ti, V, Co, Ni, Cu, Zn; y el batolito Ambo-Oxapampa, una mayor concentración de Sc, Mn, Fe.

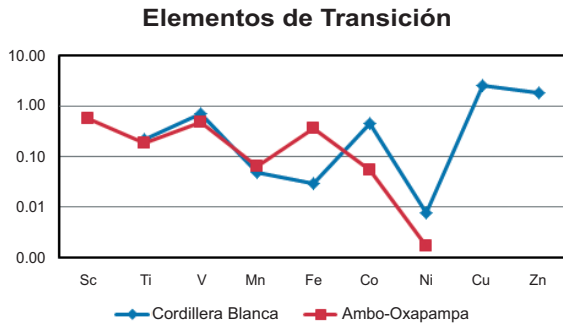


Figura N° 16. Abundancia de elementos de transición normalizados de los batolitos Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca.

VI. DIAGRAMAS DISCRIMINANTES DE AMBIENTES TECTÓNICOS

6.1. Diagrama de Shand

El diagrama Shand (Maniar y Piccoli, 1989) es también una alternativa a las categorizaciones de los granitoides de magnetita-ilmenita, ya que existe confusión en las definiciones y características. Este diagrama sirve para clasificar el ambiente tectónico en el que se produce un granitoide.

En los resultados de la Figura N° 17, los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa caen mayormente en el campo peraluminoso y en sus valores mayormente pertenecen a los granitoides de arcos continentales (CAG).

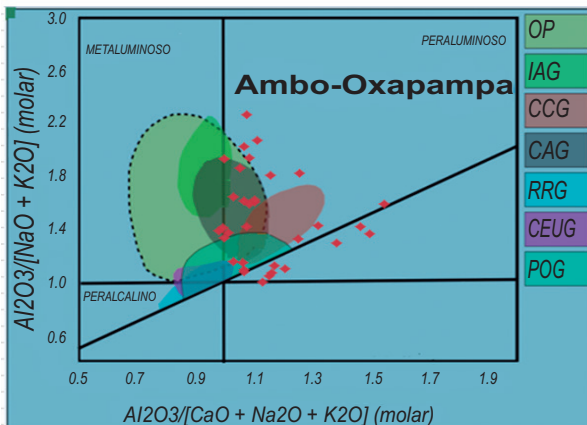


Figura N° 17. Diagrama de Shand discriminante de ambientes tectónicos del batolito Ambo-Oxapampa.

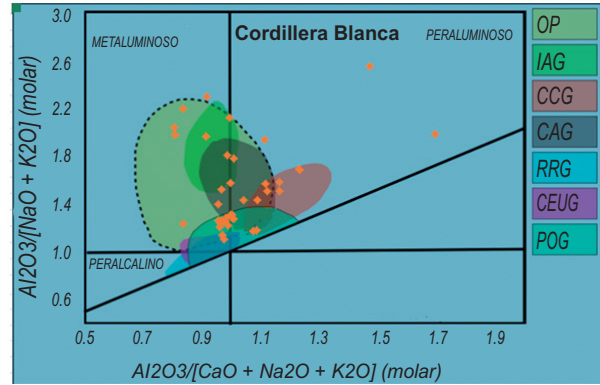


Figura N° 18. Diagrama de Shand discriminante de ambientes tectónicos del batolito Cordillera Blanca.

En la Figura N° 18 los intrusivos del batolito Cordillera Blanca inciden mayormente en el campo metaluminoso y peraluminoso, pertenecen a los granitoides de arcos continentales (CAG). Al plotear sus promedios moleculares de sus valores, ambos batolitos caen en el campo de los granitos de arco continental (Figura N° 19).

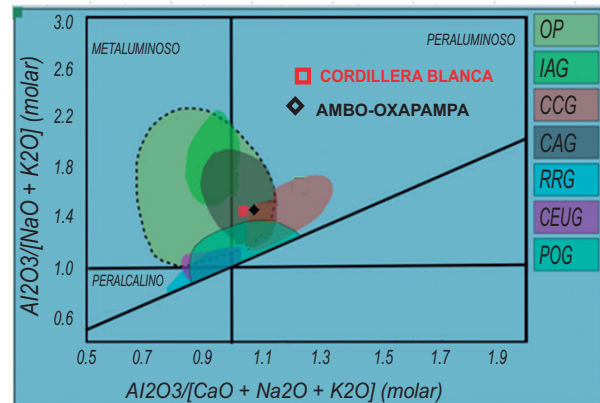


Figura N° 19. Diagrama de Shand discriminante de ambientes tectónicos de los batolitos Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa.

6.2. Diagrama de Whalen

En el diagrama de Whalen, de la Figura N° 20, donde se grafican los valores de $(Ga/Al) \cdot 10,000$ vs. Y (ppm) solo para el batolito Ambo-Oxapampa, debido a no contar con la data del elemento Ga en el batolito Cordillera Blanca, dicho diagrama muestra dos campos separados: uno correspondiente a los granitos del Tipo "I" y "S" y el otro al de los granitos tipo "A". Cabe notar que el batolito Ambo-Oxapampa cae en el campo de los granitos tipo "I" y "S".

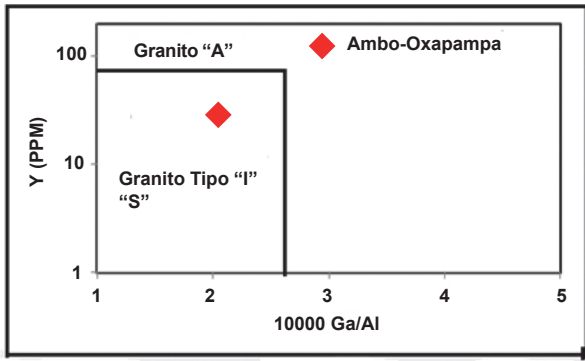


Figura Nº 20. Diagrama discriminatorio tectónico del batolito Ambo-Oxapampa.

6.3. Diagrama de Pearce: (Y + Nb) vs. Rb

Los intrusivos del batolito Cordillera Blanca (Figura Nº 21) sus promedios de abundancia de estos elementos caen en el campo de granitos de arco volcánico.

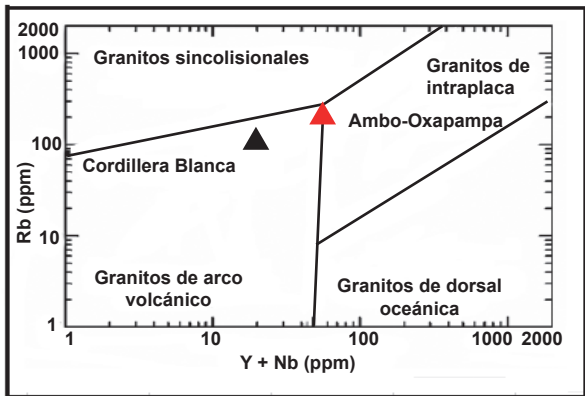


Figura Nº 21. Diagrama de Pearce Y+Nb vs. Rb para los batolitos de Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa.

Mientras que en los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa los promedios caen en el límite de los campos de granitos de arco volcánico y el campo de granito intraplaca, diferenciándose del batolito Cordillera Blanca por su mayor abundancia de Y+Nb y Rb.

6.4. Diagrama de Pearce: (Y + Nb) vs. Nb

Según Pearce, el diagrama Y+Nb (ppm) versus Nb (ppm) nos muestra los diferentes ambientes tectónicos similares al anterior diagrama. En el batolito Cordillera Blanca (Figura Nº 22), los promedios de abundancia de las rocas caen en el campo de los granitos de arco volcánico. Mientras que el total de las rocas del batolito Ambo-Oxapampa caen en el límite del campo de los granitos de arco volcánico y el campo de granito intraplacas. Similares coincidencias de ambientes tectónicos fueron encontrados en el diagrama Y+Nb vs. Rb.

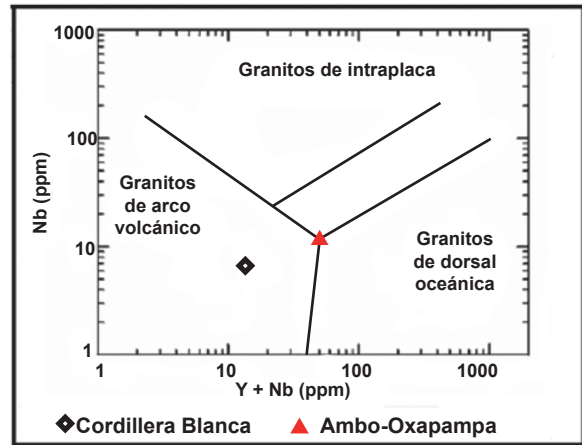


Figura Nº 22. Diagrama de Pearce Y+Nb vs. Nb para los batolitos Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa.

6.5. Diagrama de pearce: Y vs. Nb

Según Pearce, el diagrama Y versus Nb nos muestra cuatro diferentes ambientes tectónicos VAG: granito de arco volcánico; SYN COLG: granitos sin colisional; WPG: granito intraplacas y ORG: granitos dorsal oceánica.

En los promedios de abundancia de las rocas del batolito Cordillera Blanca (Figura Nº 23), las rocas caen mayormente en el campo de los granitos de arco volcánico y granitos sin colisional. Mientras que el promedio de las rocas del batolito Ambo-Oxapampa caen en el campo de los granitos de arco volcánico y granitos sin colisional, pero con cierta tendencia geológica al campo de los granitos intraplacas, similares ambientes tectónicos encontrados en el diagrama Y+Nb vs. Rb.

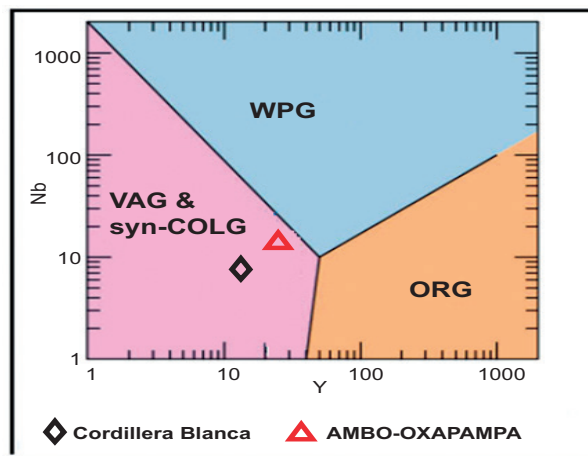


Figura Nº 23. Diagrama de Pearce Y vs. Nb de los batolitos.

6.6. Diagrama de pearce: Yb+Ta vs. Rb

Según Pearce, el diagrama Yb+Ta (ppm) versus Rb (ppm) nos muestra los diferentes ambientes tectónicos similares

al anterior diagrama. Las rocas del batolito Cordillera Blanca (Figura N° 24) caen mayormente en el campo de los granitos de arco volcánico, con cierta tendencia o cercanía al límite del campo de los granitos syncolisional. El total de las rocas del batolito Ambo-Oxapampa caen en el campo de los granitos syncolisional (colisión simultánea).

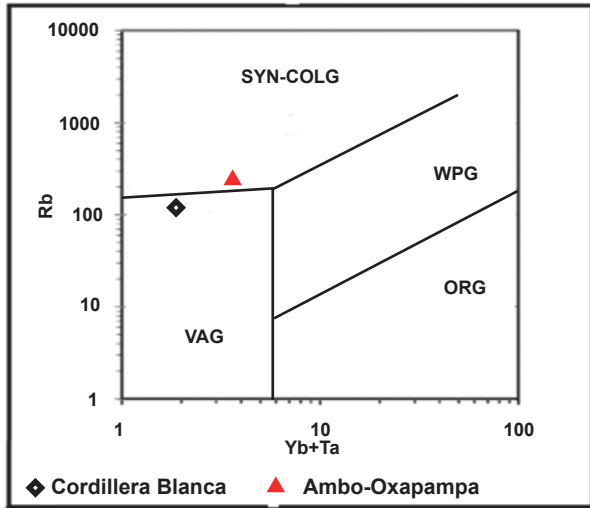


Figura N° 24. Diagrama de Pearce: Yb+Ta vs Rb batolitos Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa.

6.7. Profundidad de la fuente magmática

Para estimar la profundidad de las cámaras magmáticas donde se generan los magmas, se ploteó los datos del SiO₂ vs. Ce/Y de ambos batolitos, en donde se observa que los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa (Figura N° 25) se formaron dentro de una corteza con espesor menor de 40 km, mientras que los intrusivos del batolito Cordillera Blanca en una corteza mayor de 60 km de profundidad, por su mayor abundancia de la proporción Ce/Y.

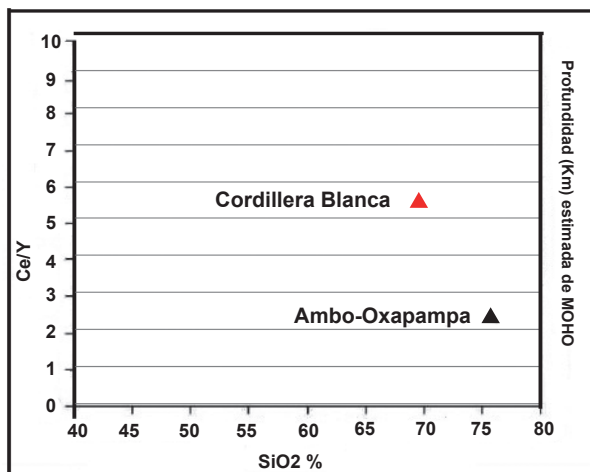


Figura N° 25. Diagrama de la fuente magmática de ambos batolitos.

6.8. Profundidad de los magmas: Eu/Eu* vs. Ce/Y

El diagrama Eu/Eu* vs. Ce/Y determina la profundidad estimada de asimilación del magma. Se usan estos

elementos dado que el resto de las tierras raras son trivalentes. El Eu bivalente presenta un comportamiento diferencial que produce anomalías que se miden por la razón Eu/Eu*, definida como:

$$Eu/(Eu^*) = (Eu(n)) / \sqrt{(Sm(n) \times Gd(n))}$$

Las rocas del batolito Cordillera Blanca tienen valores altos de Ce/Y mayor de 5, por lo tanto, estas rocas se formaron dentro de una corteza mayor de 60 km, es decir, tiene una profundidad de asimilación del magma mayor de 60 km, aproximadamente (Figura N° 26). El batolito Ambo-Oxapampa tiene valores bajos de Ce/Y menores de 3, por lo tanto, estas tienen una profundidad de asimilación del magma a menos de 30 km.

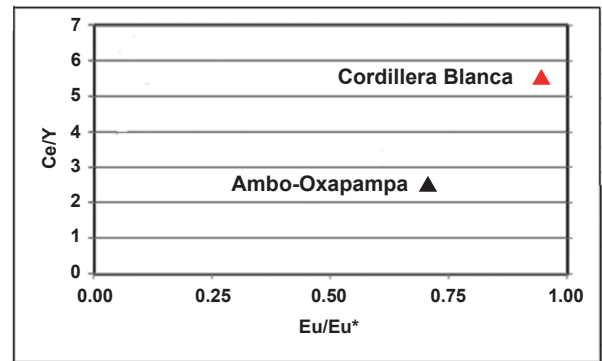


Figura N° 26. Diagrama de profundidad de las fuentes de los batolitos.

6.9. Antigüedad de los magmas: SiO2 vs. Sm/Yb

Este diagrama contrasta la abundancia del SiO₂ vs. el ratio o proporción de Sm/Yb. Este ratio va a determinar la antigüedad de la roca a nivel de los Andes sudamericanos, es un estándar proporcional. Según Mirian Mamani (2010), se determinó que probablemente a mayor valor de Sm/Yb, los magmas son más recientes; mientras que a menor valor de Sm/Yb, las muestras son más antiguas (Figura N° 27). El batolito Ambo-Oxapampa, al tener menor proporción de valores de Sm/Yb, son los más antiguos, coincidiendo con las edades radiométricas que le atribuyen edad Permo-Triásico y el batolito Cordillera Blanca del Neógeno es más reciente.

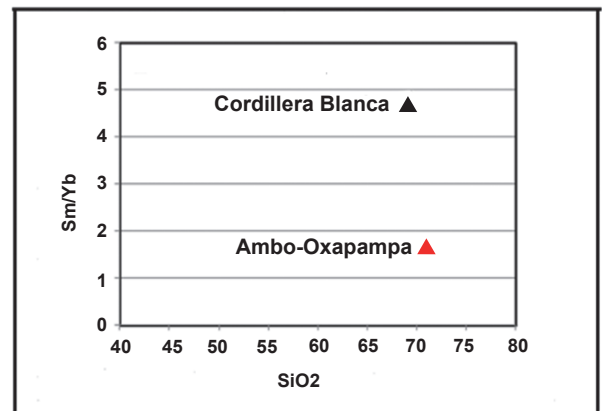


Figura N° 27. Diagrama para determinar la antigüedad de las rocas: SiO₂ vs. Sm/Yb.

VII. CÁLCULOS Y DIAGRAMAS DE FLUIDOS HIDROTERMALES Y MINERALIZACIÓN

En esta investigación, usando diagramas geoquímicos, se ha estimado las características de los magmas, la diferenciación de los magmas, el grado de oxidación, su contenido de agua y su relación con los fluidos hidrotermales y su asociación a la mineralización. Además, con los estudios de las últimas décadas se sabe que las anomalía de Eu/Eu^* es un factor importante en la determinación de los fluidos que están asociados a los magmas fértiles (Mamani et al., 2010).

7.1. Diagrama de circulación de fluidos hidrotermales: U vs. Th

Conociendo que los elementos radiactivos U, Th, incrementan sus concentraciones en la corteza superior, lo que a su vez implica que ha habido una mayor contaminación cortical y mayor circulación de fluidos hidrotermales. Por lo tanto, usando los valores promedios de las rocas intrusivas (Figura N° 28) de las unidades geológicas estudiadas, se determina que los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa presentan valores de U más bajos que el batolito Cordillera Blanca, debido a ello, caen en el campo de menor contaminación cortical y menor circulación de fluidos. El batolito Cordillera Blanca presenta valores altos de U pero algo más bajos en Th, por ello cae en el campo de mayor circulación de fluidos y de mayor contaminación cortical.

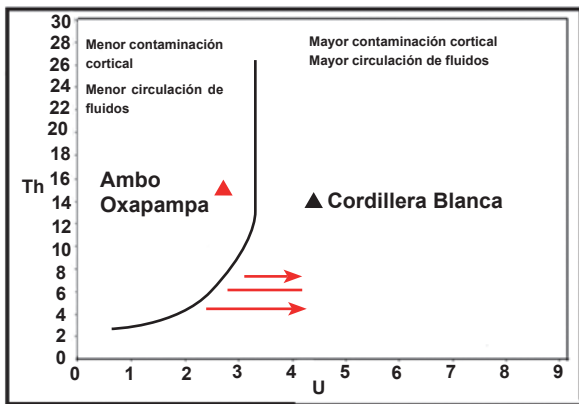


Figura N° 28. Diagrama de circulación de fluidos hidrotermales de los batolitos.

7.2. Diagrama tipos de magmas secos o hidratados: Al/(Ca+Na+K) vs. Eu/Eu^*

Según el diagrama de alúmina/álcalis vs. Eu/Eu^* , calculado los valores de alúmina /álcalis en proporciones molares y el ratio Eu/Eu^* cuyos valores se han normalizado de acuerdo a los valores de Wakita (Figura N° 29):

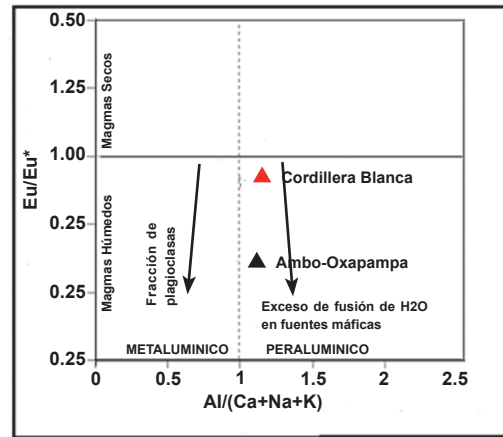


Figura N° 29. Diagrama de magmas húmedos y secos entre álcalis y Eu/Eu^* .

Los magmas de la composición de los dos batolitos de Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca pertenecen a la zona peraluminos, por lo tanto, estos presentan exceso de fusión de agua en fuentes máficas, por lo que puede generar fluidos hidrotermales y agentes transportadores de iones metálicos. Si bien las muestras de las dos batolitos están dentro del rango de magmas húmedos, el batolito Cordillera Blanca muestra una mayor proporción de Eu/Eu^* .

7.3 Diagrama estado de oxidación vs. el contenido agua: Eu/Eu^* vs. Fe total

Las rocas de las dos unidades caen en el campo de la corteza continental o primitiva y dentro de los granitos “tipo I” o de la “serie de la magnetita” también están reducidos relativamente al incremento de la fugacidad de oxígeno, es decir, indican que son magmas húmedos. Además tienen predisponibilidad de estar asociadas a elementos calcófilos. Con respecto a las ocurrencias mineralizadas, el batolito Ambo-Oxapampa cae en el campo del Mo y el batolito de Cordillera Blanca cae en el campo de los polimetálicos de Zn-Pb-Ag (Figura N° 30).

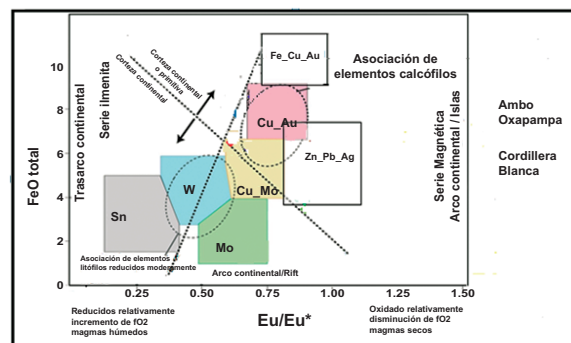


Figura N° 30. Diagrama de contenido de agua vs. oxidación y mineralización.

VIII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad conocer el comportamiento de los elementos mayores, menores y trazas y además de los compuestos químicos expresados en óxidos, contenidos en muestras de rocas intrusivas pertenecientes a los batolitos de la Cordillera Blanca y el batolito de Ambo-Oxapampa, ubicados en el centro del Perú. Se intentó, a través del comportamiento geoquímico de dichos elementos, confirmar o descartar el origen, la evolución y la clasificación del magmatismo plutónico desde el Permo-Triásico al Mioceno. Este estudio geoquímico de las rocas es complementario al estudio petrográfico microscópico, porque 98este muchas veces es incompleto, dado que la mayoría de los minerales admiten considerables sustituciones de otros elementos compatibles, tanto por su radio iónico o carga eléctrica, por lo que podemos encontrar rocas de igual composición mineralógica pero con una distinta composición química.

Comparando los resultados de la caracterización de los intrusivos de las superunidades de Challaviento y Yarabamba y los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso en el sur del Perú (Rivera et al., 2012 y 2013), estas unidades geológicas muestran un comportamiento geoquímico con respecto al ambiente geotectónico de subducción de placas y de granitoides de arcos volcánicos, con empobrecimiento de tierras raras pesadas, lo que indica un origen mantélico rico en granates y presencia de fuerte anomalía negativa de Eu que indica un fraccionamiento de plagioclasas, mientras que los batolitos de la Cordillera Blanca y Ambo-Oxapampa en el centro del Perú caen en los campos de granitos de arco continental y granito intraplaca y la ausencia de anomalías de Eu, por lo que se supone una variación del ángulo de subducción de la placa oceánica que no ha alcanzado profundidades cercanas al manto como en el sur.

IX. CONCLUSIONES

1. El batolito Ambo-Oxapampa muestra una diferenciación que abarca mayormente el campo de los granitos (79%), seguido de la granodiorita y, en menor cantidad, la tonalita. Mientras que el batolito Cordillera Blanca varía de granitos normales y alcalinos (65%), seguido de la granodiorita (24%) y monzonita (11%).
2. Los intrusivos de ambos batolitos son de naturaleza subalcalinas y de la serie calcoalcalinas de alto K. Las rocas del batolito Ambo-Oxapampa son de naturaleza peraluminosa y las rocas del batolito Cordillera Blanca son metaluminosa y peraluminosas.
3. El batolito Ambo-Oxapampa, en donde hay un enriquecimiento de tierras raras ligeras (LILE) y de tierras raras pesadas (HFSE) mayor de 10, lo que indica la no presencia de granate en la fuente, mientras que en el batolito Cordillera Blanca hay un enriquecimiento de tierras raras ligeras y empobrecimiento de tierras raras pesadas que nos indican que provienen de la fusión parcial de un manto con granate. La ligera anomalía negativa del Europio (Eu) en el Ambo-Oxapampa se estima como producto del fraccionamiento de plagioclasas, mientras

que en el batolito Cordillera Blanca no es evidente esta anomalía.

4. El análisis 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 batolitos están relacionados a un marco tectónico de subducción de placas.
5. En el análisis del diagrama de Shand, los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa caen mayormente en el campo peraluminoso y en sus valores pertenecen a los granitoides de arcos continentales (CAG), los intrusivos del batolito Cordillera Blanca inciden mayormente en el campo metaluminoso y peraluminoso pertenecen a los granitoides de colisión continental (CCG). Los promedios moleculares de ambos batolitos caen en el campo de los granitos de arco continental (CAG).
6. La profundidad de las cámaras magmáticas donde se generan los magmas, de ambos batolitos, en donde se estima que los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa se formaron dentro de una corteza con espesor menor de 40 km, mientras que los intrusivos del batolito Cordillera Blanca en una corteza mayor de 60 km de profundidad.
7. En los diagramas de Pearce, según la relación de $Y+Nb$ (log) versus Rb (log), $Y+Nb$ (ppm) versus Nb (ppm), Y vs Nb y $Yb+Ta$ vs Ce/Y , los promedios de abundancia de estos elementos en los intrusivos del Batolito Cordillera Blanca caen en el campo de granitos de arco volcánico, mientras que los promedios de los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa caen en el límite de los campos de granitos de arco volcánico y el campo de granito intraplaca.
8. El diagrama de relación Eu/Eu^* vs Ce/Y nos muestra que las rocas del batolito Cordillera Blanca se formaron dentro de una corteza mayor de 60 km, mientras que el batolito Ambo-Oxapampa tiene una profundidad de asimilación del magma a menos 30 km.
9. El diagrama SiO_2 vs. Sm/Yb nos determinó que el batolito Ambo-Oxapampa, al tener menor proporción de valores de Sm/Yb , es el más antiguo en relación con el batolito de la Cordillera Blanca, coincidiendo con las edades radiométricas que le atribuyen edad Pérmico. El batolito Cordillera Blanca del Neógeno es más reciente
10. El diagrama U vs. Th determinó que los intrusivos del batolito Ambo-Oxapampa caen en el campo de menor contaminación cortical y menor circulación de fluidos y el batolito Cordillera Blanca cae en el campo de mayor circulación de fluidos y de mayor contaminación cortical.
11. El diagrama $Al/(Ca+Na+K)$ vs. Eu/Eu^* nos muestra que la composición de los magmas de los dos batolitos de Ambo-Oxapampa y Cordillera Blanca pertenecen a la zona peraluminosa, por lo

tanto, estos presentan exceso de fusión de agua en fuentes máficas, por ello son magma húmedos, por lo que pueden generar fluidos hidrotermales y agentes transportadores de iones metálicos.

12. El diagrama estado de oxidación vs. el contenido agua Eu/Eu* vs. Fe total nos muestra que ambos batolitos tienen predisponibilidad de estar asociados a elementos calcófilos, por lo tanto, las rocas de los batolitos están asociadas a la corteza continental o primitiva a los granitoides de la serie "I" o de la serie de la magnetita. Con respecto a las ocurrencias mineralizadas, el batolito Ambo-Oxapampa cae en el campo del Mo y el batolito de Cordillera Blanca cae en el campo de los polimetálicos de Zn-Pb-Ag.

X. 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 en esta investigación.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cobbing, J; Sánchez, A; Martínez, W; Zarate, H (1996): Geología de los cuadrángulos de Huaraz, La Unión, Chiquián, y Yanahuanca. INGEMMET Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional N° 76, 297p.
2. Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks: Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
3. Mamani, M; Rodríguez, J; Acosta, H; Alvan, A; Oviedo, M. (2010): Variaciones geoquímicas y ocurrencias metálicas de las unidades magmáticas del Jurásico al Paleogeno en el Sur del Perú. (CD-ROM): en 15 Congreso Peruano de Geología-Cusco 2010. Resúmenes Extendidos Lima. Sociedad Geológica del Perú, pp. 967-970.
4. Miskovic, A (2009): Magmatic evolution of the Peruvian Eastern Cordilleran intrusive belt: Insights into the growth of continental crust and tectonism along the proto-Andean Western Gondwana. Thesis Doctor Universidad de Geneve-suiza.
5. 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.
6. 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.
7. Quispesivana, L (1996): Geología del Cuadrángulo de Huánuco. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional No.75 INGEMMET.
8. Ringwood, A.E. (1975): Composition and petrology the Earth's Mantle. New York. MacGraw-Hill.
9. Rivera, H; Chira, J; Chacón, N; Medina, R; Sánchez, J; Bravo, C (2012): Análisis correlacional y caracterización litogeoquímica de los volcánicos Toquepala y Barroso en el sur del Perú" Revista IIGEO-FIGMMG-UNMSM volumen 15 N° 29 enero-junio 2012.
10. Rivera, H; Chira, J; Chacón, N; Pedemonte, G; Mendoza, R (2013): Caracterización litogeoquímica y análisis correlacional de los intrusivos de las superunidades de Yarabamba y Challaviento en el sur del Perú: Revista IIGEO-FIGMMG-UNMSM volumen 16 N° 31 enero-junio 2013.
11. Whalen, J.B., Currie, K.L. y Chappell, B.W. (1987). A-type granites, geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology 95: 407-419.
12. Wilson J; Reyes, L, Garayar, J (1967): Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. INGEMMET Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional N° 16, 95p.
13. Wilson. P.A (1975): Potassium-argon age studies in Peru with particular reference to the emplacement of the coastal batholith. University of Liverpool 299. Copia fotostática.