

Caracterización litogeoquímica de rocas de la Cordillera Oriental del Centro del Perú, su relación con tierras raras y su potencial para generar depósitos minerales

Lithogeochemistry characterization of rare earth elements in rocks of Eastern Cordilleran at the Center of Peru and its potential to generate mineral deposits

Michael Valencia Muñoz ¹

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

RESUMEN

En el Perú las rocas con concentraciones interesantes en elementos de Tierras Raras (REE), son los batolitos y los stocks que presentan tendencia alcalina a peralcalina, también relacionados a depósitos de U-Th, pero en donde no se ha descubierto un yacimiento mineral de Tierras Raras (REE) de importancia.

Para esta caracterización hicimos un muestreo selectivo de rocas intrusivas obteniéndose 234 datos geoquímicos, que en base al diagrama de álcalis totales vs sílice, indican que las rocas del Permotriásico tienen tendencia alcalina; mientras sus rocas volcánicas tienen tendencia toleítica.

En el Carbonífero las rocas son de tendencia alcalina, y se ha reconocido una serie de rocas peralcalinas. En el Oligoceno son calcoalcalinas, lo mismo que algunas rocas del Eoceno y Mioceno. Mientras algunas lavas dacíticas e intrusiones del Eoceno y Mioceno muestran tendencia toleítica.

En base al índice de alúmina tenemos intrusivos permotriásicos, peraluminosos y peralcalinos, destacando estas últimas. Las lavas permotriásicas son más peraluminosas, al igual que en las carboníferas. Las rocas volcánicas oligocenas, eocenas y miocenas se encuentran entre la interfase de metaluminosas a peraluminosas. Las lavas y cuerpos subvolcánicos del Cenozoico y Plioceno caen todas entre el límite entre metaluminosas y peraluminosas.

Finalmente, los cuerpos de intrusivos de composición peralcalina en la zona de estudio, muestran concentraciones de Tierras Raras (REE) anómalas y rocas bastante evolucionadas con mayor contaminación cortical; por tanto, existen zonas con potencial geológico para encontrar un yacimiento mineral en Tierras Raras (REE) en la Cordillera Oriental del centro del Perú.

Palabras clave: Litogeoquímica; Tierras Raras; potencial; Centro del Perú.

ABSTRACT

In Peru, rocks with interesting composition in Rare Earth Elements (REE) elements are batholiths and stocks of alkaline to peralkaline tendency, also related to U-Th deposits. However, an important mineral deposit of Rare Earth Elements (REE) has not yet been discovered.

In this work a selective sampling of intrusive rocks was carried out and they took 234 geochemical data, that based on the diagram of total alkalis vs silica indicate that the rocks of the permotriassic are of alkaline tendency; while their volcanics are of a tholeiitic tendency.

In the Carboniferous they are of alkaline tendency, and a series of rocks peralkalines has been recognized. In the Oligocene are calc-alkali, as well as some rocks of the Eocene and Miocene. While some dacitic lavas and intrusions of the Eocene and Miocene show a tholeiitic tendency.

Based on the alumina index we have peraluminous and peralkaline permotriassic intrusives, with peralkaline rocks being the most prominent. Permotriassic lavas are more peraluminous, as in the Carboniferous. Oligocene, Eocene and Miocene volcanic rocks are found between the interface of metaluminous to peraluminous. The lavas and subvolcanic bodies of the Cenozoic and Pliocene all fall between the boundary between metaluminous and peraluminous.

Finally, the bodies of intrusive peralkaline composition in the Eastern Cordillera of Central Peru show anomalous Rare Earth Elements (REE) concentrations and rocks more evolved with cortical contamination; hence, there are zones with geological potential to find a mineral deposit in REE in the Central Peru.

Keywords: Lithogeochemistry; REE; potential; center of Peru.

¹ Egresado de la Maestría en Geología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. E-mail: mvalencia@ingemet.gob.pe

I. INTRODUCCIÓN

Las Tierras Raras (REE) son elementos químicos comprendidos entre el lantano y el lutecio, además del escandio e itrio, que tienen características físicas y químicas similares (Samson & Wood, 2004), y que son útiles para aplicarse en artefactos electrónicos, y como aleaciones, proporcionando características particulares a los metales y al vidrio, originando su elevada demanda en la industria (Unger, 2009).

En el Perú las rocas con concentraciones interesantes en estos elementos, son los intrusivos de batolitos y stocks que presentan tendencia alcalina a peralcalina, y que se relacionan a depósitos de U-Th, y que evidencian fusión de litósfera subcontinental antigua (Chirif, 2011). Sin embargo, hasta ahora no se ha determinado la presencia de un depósito mineral de Tierras Raras (REE) en el Perú de importancia.

El presente trabajo está enmarcado en los estudios metalogenéticos regionales que realizó la DRME del Ingemmet y cuyo objetivo era encontrar zonas con potencial geológico para albergar ocurrencias de depósitos en minerales de Tierras Raras (REE) en el Perú Central.

Las rocas con potencial para este tipo de depósitos, están en las rocas de tendencia alcalina en el Perú Central relacionadas al Batolito de San Ramón de Junín (Chirif, 2011). Asimismo, destacan también la presencia de ocurrencias secundarias de Tierras Raras (REE) en ríos amazónicos colindantes a la Cordillera Oriental en el centro del Perú (Bohorquez et al., 2012) con regolitos provenientes también de la zona donde se emplaza el batolito. Sin embargo, esta zona es de escaso acceso, con abundante cobertura de suelo por la vegetación, y escasa información geológica.

Es por esta razón que entre los años 2011 y 2012, el Ingemmet desarrolló el proyecto Potencial y tipos de yacimientos por metales en el Perú, cuyos objetivos fueron:

- Reconocer los principales tipos de yacimientos y ocurrencias metálicas en el Perú Central, en especial las de Tierras Raras (REE) y de uranio.
- Determinar anomalías geoquímicas en Tierras Raras (REE) y uranio en sedimentos y rocas.
- Para tal efecto, se recopiló toda la información bibliográfica y de la base de datos del Ingemmet y la Base DAC del Ministerio de Energía y Minas; y posteriormente, se realizaron estudios y trabajos de campo en donde se recolectaron muestras para analizarlas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro (04) salidas de campo con más de 80 días en total en las que se recolectaron muestras de los yacimientos y ocurrencias metálicas. Para la recolección del uranio se hizo una prospección radiométrica paralela al muestreo de roca; se usó un equipo contador de centelleo portátil (escintilómetro) de marca Scintrex, modelo

bgs-1sl, que permitió medir la radiación gamma natural (radiactividad natural) de las rocas y determinar el nivel de sus campos. Se identificaron anomalías de uranio en las zonas estudiadas. Se recolectaron 233 muestras para datos geoquímicos, analizadas con ICP-Masa Multielemental para 55 elementos por fusión de peróxido de sodio y 206 de estas muestras se analizaron además por ICP-OES de metaborato de Litio de 17 elementos y por fluorescencia de rayos X con borato de Litio, para determinar la composición primaria de óxidos mayores de las rocas ígneas, cuyos datos geoquímicos fueron depurados y seleccionados para usarse en las determinaciones petroquímicas como la alcalinidad y la aluminosidad, utilizando los diagramas de variación, lo que permitió hacer un análisis del magmatismo relacionado con las ocurrencias estudiadas, así como su clasificación e identificación de su serie magmática, en base a la clasificación TAS (Alkalís vs. SiO₂); mientras la aluminosidad permitió determinar la afinidad química, importante para este tipo de depósitos.

Finalmente, la geoquímica de los elementos trazas se usó para determinar anomalías de uranio (U) y Tierras Raras (REE), sus relaciones geoquímicas, así como su fuente y contaminación magmática (Diagrama Spider de REE) relacionados a los depósitos estudiados (Rollison, 1993).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Geología Regional

Las unidades geológicas sedimentarias forman franjas de dirección NO-SE y que de NE al SO se distribuyen en este orden (Figura 1): Precámbrico, que comprende rocas metamórficas; le sigue un Paleozoico inferior metasedimentario y marino (Devónico); un Paleozoico superior (Carbonífero) continental y marino; y sobreyaciendo tenemos secuencias calcáreas marinas (Triásico-Jurásico), recubiertas por unidades cretáceo-paleógenas de la Faja Subandina al extremo NE; seguidamente con las misma tendencia y orientación tenemos al Cretáceo marino continental de la Cuenca Occidental y el Cenozoico caracterizado por un vulcanismo de arcos magmáticos (Mioceno-Neógeno) que cubren el eje de la Cordillera Occidental junta a las capas rojas (del Paleógeno).

3.2. Magmatismo

En base al diagrama de álcalis totales vs sílice (TAS) de Le Bas et al. (1986) se ha determinado que en la zona de estudio tenemos rocas alcalinas, calcoalcalinas y toleíticas (Figura 2). Las rocas pertenecientes al Permotriásico son generalmente de intrusivos de características de alcalinos o de tendencia alcalina; mientras sus equivalentes volcánicos permotriásicos son generalmente toleíticos. Algunas muestras evidencian pérdida de Na, K, Ca y aumento relativo de Si y Al, debido a procesos supergénicos en las muestras de la zona selva y procesos hidrotermales, pero sin afectar las concentraciones de Tierras Raras (REE).

En el Carbonífero las rocas tienen una tendencia calcoalcalina a alcalina y asimismo se ha reconocido una serie de rocas peralcalinas ubicadas en el extremo superior del diagrama. Mientras en el Oligoceno tenemos que las

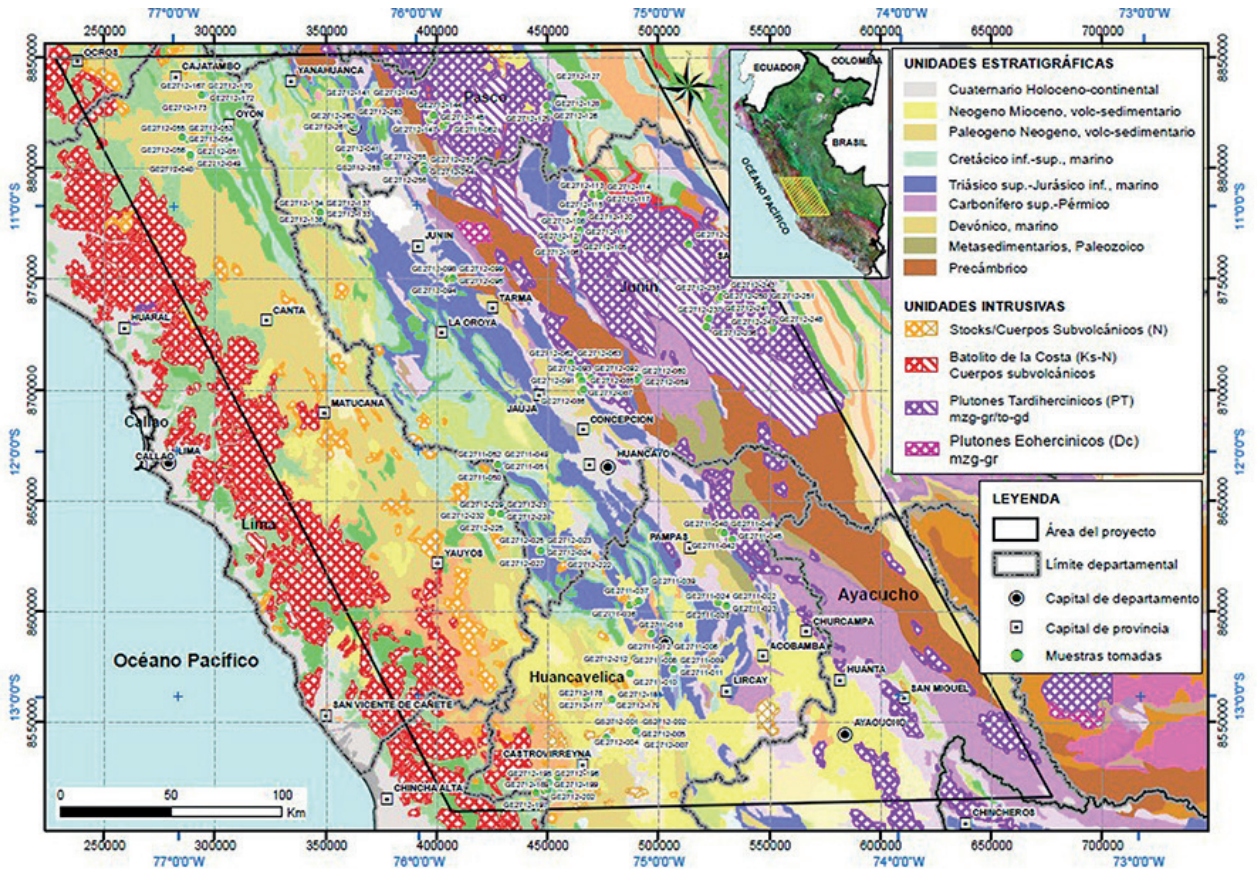


Figura 1. Mapa Geológico generalizado y mapa de muestras recolectadas durante el presente estudio, en donde destacan las zonas Pampa Hermosa y Calabaza en Satipo (marcado en línea roja) que tienen un mayor potencial para ocurrencias de Tierras Raras (REE).

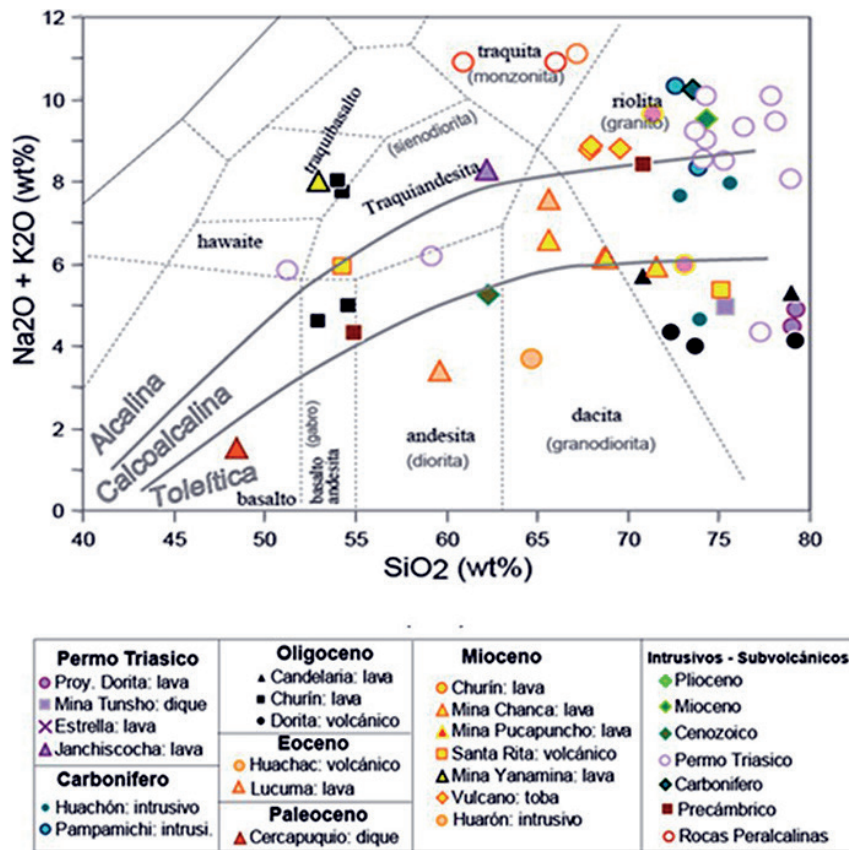


Figura 2. Gráfica del Grado de Alcalinidad de las rocas de la zona de estudio en base al Diagrama de TAS (Le Bas et al., 1986).

rocas son principalmente calcoalcalinas, lo mismo que algunas rocas del Eoceno y Mioceno, y algunos diques aparentemente del Paleoceno indican un comportamiento toleítico. Asimismo, algunas lavas dacíticas y cuerpos andesíticos del Eoceno y Mioceno dan valores con tendencia toleítica.

Las intrusiones del Cenozoico de cuerpos subvolcánicos y lavas del Cenozoico son calcoalcalinas; mientras ciertas lavas y cuerpos subvolcánicos tienen tendencia alcalina.

En base al diagrama de R1-R2 (Figura 3) de La Roche et al. (1980), se ha determinado que en la zona de estudio casi todas las intrusiones permotriásicas tienen composición geoquímica de granitos, sienogranitos, monzodioritas; mientras las lavas permotriásicas son riolíticas. En el Carbonífero tenemos rocas granodioríticas; mientras las rocas peralcalinas caen en el campo de las sienitas. Sin embargo, debemos considerar que la aplicación de este gráfico es complicada debido a lo difícil de definir los parámetros R1-R2 del diagrama, sobre todo en zonas donde la alteración ha afectado en alguna medida a las muestras, debido a su difícil geografía y clima.

Las rocas del Oligoceno son andesitas y andesitas basálticas. Mientras las rocas del Eoceno y Mioceno cayeron en el campo de las dacitas, andesitas y riolitas (relacionadas con las ignimbritas de esta edad). Mientras algunos diques dieron como resultado andesitas basálticas.

Los cuerpos subvolcánicos y lavas cenozoicas son andesitas; mientras las lavas miocenas y pliocenas son andesitas basálticas.

Asimismo, en base al diagrama de índice de saturación de alúmina de Shand (1927) se ha determinado que los intrusivos permotriásicos presentan características peraluminosas y peralcalinas, destacando un grupo de rocas de tendencia peralcalina (Figura 4). Las lavas permotriásicas son más peraluminosas, al igual que en el Carbonífero.

Las rocas volcánicas oligocenas, eocenas y miocenas se encuentran entre la interfase de metaluminosas a peraluminosas excepto para algunas lavas que presentan un comportamiento peraluminoso probablemente por alteración hidrotermal.

Las lavas y cuerpos subvolcánicos del Cenozoico y Plioceno caen todas entre el límite entre metaluminosa y peraluminosa.

Los resultados geoquímicos multielementales dieron a conocer cuerpos de intrusivos de composición peralcalina en la Cordillera Oriental del Perú Central, y donde hay zonas con concentraciones de Tierras Raras (REE) anómalas (Tabla 1 y Figura 5). De la misma forma en el diagrama de Tierras Raras (REE, Figura 5) muestra unas rocas intrusivas bastante evolucionadas con enriquecimiento de Tierras Raras Pesadas (HREE). Esto es un indicativo de ausencia de granate en la roca fuente y una mayor contaminación cortical, debido a que se encuentra en una zona pericratónica. La anomalía negativa de Eu indica fraccionamiento de las plagioclasas en el intrusivo. Las muestras que no presentan la anomalía de Eu indican neutralización por enriquecimiento por presencia de las rocas alcalinas ricas en feldespatoides. Todas las muestras evidencian un fuerte enriquecimiento de Tierras Raras

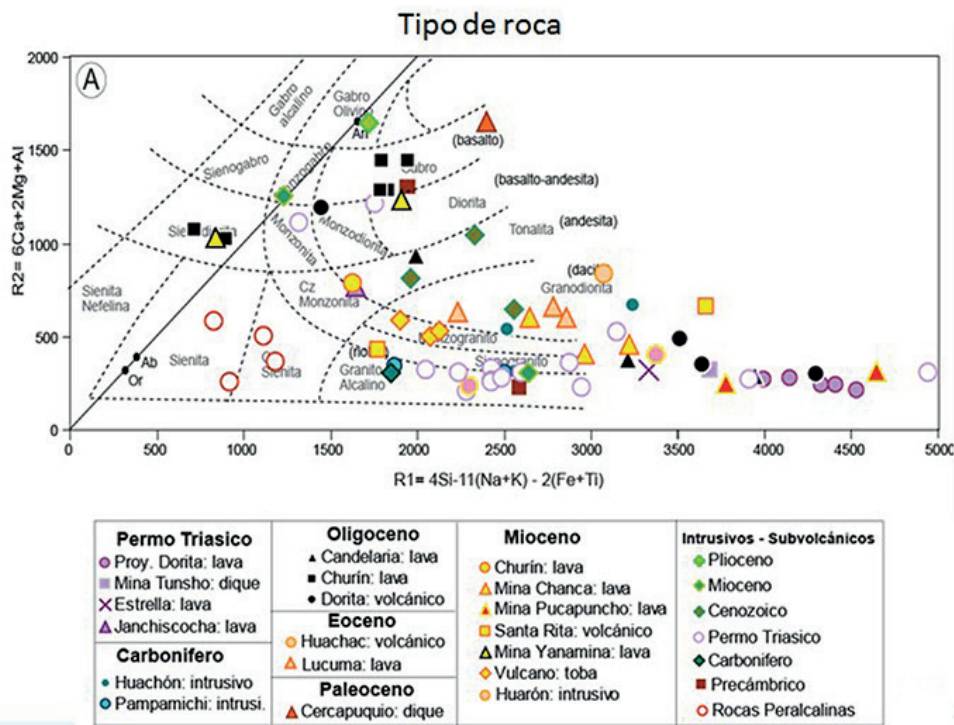


Figura 3. Diagrama para clasificar el Tipo de Roca de la zona de estudio en base al Diagrama De La Roche et al. (1980). Símbolos tomados de la figura 2.

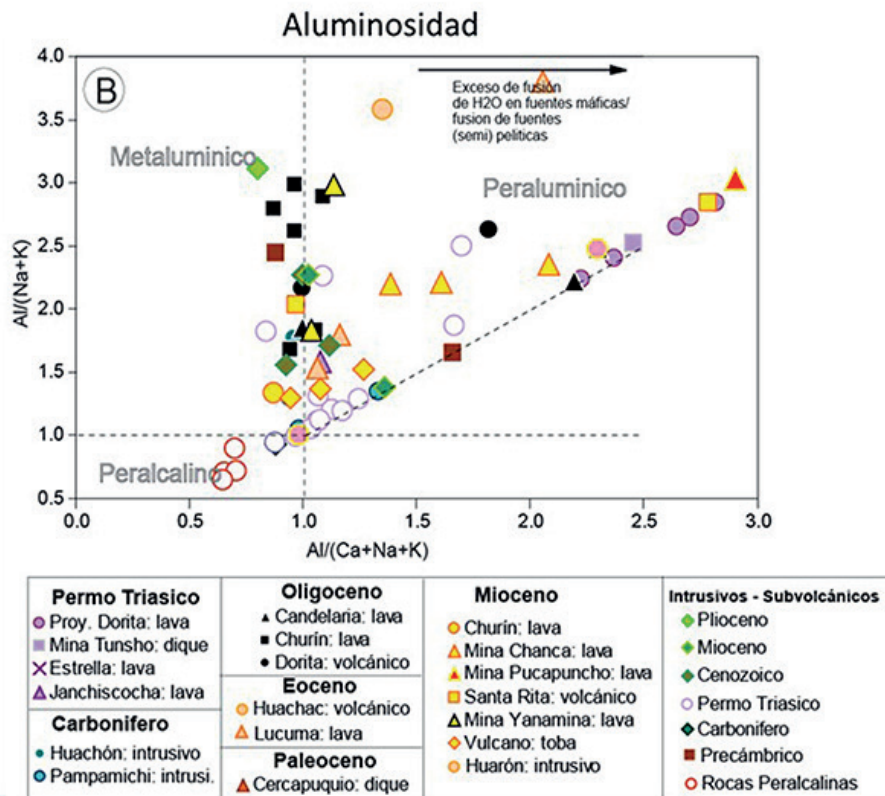


Figura 4. Diagrama para discriminación de las series metalumínica, peralumínica y peralcalina de las rocas en base al Diagrama de Shand (1927). Símbolos tomados de la figura 2.

(REE) con respecto al promedio de la corteza; por tanto, existen zonas con un alto potencial geológico para contener un depósito mineral relacionado a las Tierras Raras (REE) en el Perú, Cenral tal como se ha comprobado en zonas como Pampa Hermosa y Calabaza en Satipo (ver Figura 1) con valores de 0.13% a 0.12% de concentración total de óxidos de Tierras Raras (TREO).

3.3. Metalogenia

En el área de estudio se han definido cinco franjas metalogenéticas (Acosta et al., 2009): Franja I de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Siluro-Devónico con estructuras mineralizadas de vetas y mantos lenticulares de cuarzo-oro, en donde se conoce explotación artesanal e informal (Haeblerlin, 2002; Chew et al., 2005; Cardona, 2006); Franja III depósitos de U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos y pórfidos skarns Cu-Ag del Pérmotriásico con una mineralización en mantos y vetas en lutitas y calizas de edad Carbonífera, como el depósito tipo skarn de Cobriza y el de tipo orogénico de Huachón (Quispe et al., 2008); Franja XVI que contiene yacimientos tipo Mississippi Valley (MVT) de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno, en las rocas calcáreas dolomíticas del Triásico superior-Jurásico inferior del Grupo Pucará, destacando el depósito de San Vicente; Franja XVII de depósitos epitermales de Au-Ag del Eoceno y polimetálicos del Eoceno-Oligoceno-Mioceno, en donde destaca el yacimiento epitermal de Au-Ag de Quicay, de mineralizaciones de 37 y 35 Ma (Noble y Mc Kee, 1999), y algunos depósitos menores como Yanahuilca y Estrella; Franja XXI-A de epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas, relacionada a depósitos

de Au-Ag (Pb-Zn-Cu) de características de alta, baja e intermedia sulfuración con mineralizaciones de entre 18-13 Ma y 12-8 Ma como Cerro de Pasco (Baungartner et al., 2006), Julcani, San Genaro, Caudalosa Grande, Caudalosa Chica y otros (Quispe et al., 2008).

3.4. Discusión

Considerando el marco geológico, tenemos a diversas unidades litológicas como fuente de muchos de los elementos químicos presentes en la zona de estudio. Así en las rocas intrusivas del Carbonífero de tendencia calcoalcalina a alcalina (figura 2) y peralumínica (figura 4), tenemos al yacimiento de oro de Huachón, emplazado en intrusivos y con fallas longitudinales normales, que conforma vetas relacionadas a la Franja III, afines a las vetas mesotermiales de oro con esfalerita, y piritas preexistentes, con una ley variable que puede alcanzar los 20 g/t Au.

Más al sur tenemos los depósitos minerales de Estrella y Yanahuilca, emplazados en las rocas volcánicas piroclásticas del paleozoico superior con leyes de 200 g/t de Ag y 1 % de Cu, de características de depósitos epitermales de baja sulfuración, relacionados a un magmatismo Eoceno-Oligoceno-Mioceno calcoalcalino y metaluminoso a peralumínico comprendido dentro de la franja XVII relacionado a los epitermales de Au-Ag.

En las capas rojas permotriásicas se observa el depósito de Cu de Negra Huanusha, que forma mantos de control litológico, con fluidos que removilizaron el Cu a partir de la difusión a niveles superiores de los iones,

desde unos fluidos con concentraciones saturadas de Cu de origen incierto, pero cuya fuente podrían ser las intrusiones permotriásicas relacionado a la Franja III.

De la misma manera tenemos que las rocas permotriásicas son sienogranitos, alcalinos, peraluminosos, bastante evolucionados por procesos de cristalización y segregación que originaron las rocas peralcalinas y peraluminosas (Figuras 2, 3 y 5). Estas son rocas de magmatismo profundo y más primitiva, con una fuerte contaminación cortical, que son características para intrusivos fértiles para generar depósitos de uranio y ocurrencias de tierras raras.

Por tanto, vemos que las características petrológicas, en especial de las rocas intrusivas (Figura 1), controlan la distribución de los elementos químicos. Posteriormente, eventos tectónicos condicionan la distribución de estos elementos químicos, expresados en las mineralizaciones, y estos mapeados como depósitos minerales en la Cordillera Oriental del centro del Perú (Figura 6).

IV. CONCLUSIONES

En base a los análisis geoquímicos en elementos mayores, tenemos a las rocas de edad permotriásica que son generalmente intrusivos de característica alcalina o presentan tendencia alcalina; mientras sus equivalentes rocas volcánicas son de características más toleíticas. Las rocas pertenecientes al carbonífero tienen una tendencia alcalina. Las rocas magmáticas del Oligoceno son calcoalcalinas; lo mismo que para el Eoceno y Mioceno; y mientras los cuerpos subvolcánicos y lavas del Cenozoico son calcoalcalinas. Mientras, los índices de saturación de alúmina varían temporalmente: los intrusivos

permotriásicos son peraluminosos y peralcalinos, y en este último destaca un grupo de rocas peralcalinas. Las rocas del Carbonífero son rocas peraluminosas; mientras las rocas del Oligoceno, Eoceno, Mioceno varían entre metaluminosas a peraluminosas.

De esta forma las características petrológicas, en especial de las rocas intrusivas, controlan la distribución de los elementos químicos, que eventos tectónicos condicionan con una distribución de estos elementos químicos, expresados en las mineralizaciones, y estos mapeados como depósitos minerales en la Cordillera Oriental de la región central del Perú como el mapa metalogénico del área de estudio. Asimismo, tenemos cuerpos de intrusivos de tendencia peralcalina en la Cordillera Oriental del Perú Central, en donde hay zonas con concentraciones de Tierras Raras (REE) anómalas (Tabla 1 y Figura 5) en rocas bastante evolucionadas y con una mayor contaminación cortical; por tanto, existen zonas de alto potencial geológico para albergar un depósito mineral relacionado a las Tierras Raras (REE) en la Cordillera Central del Centro del Perú.

Tabla 1. Abundancia de las Tierras Raras (REE) en la corteza continental, que sumados no alcanzan los 80 ppm. Tomado de Samson y Wood, (2004)

Elemento	Concentración (ppm)	Elemento	Concentración (ppm)
Y	20	Er	2.2
Nd	16	Yb	2.2
La	16	Eu	1.1
Pr	3.9	Ho	0.78
Dy	3.7	Tb	0.6
Sm	3.5	Tm	0.32
Gd	3.3	Lu	0.3

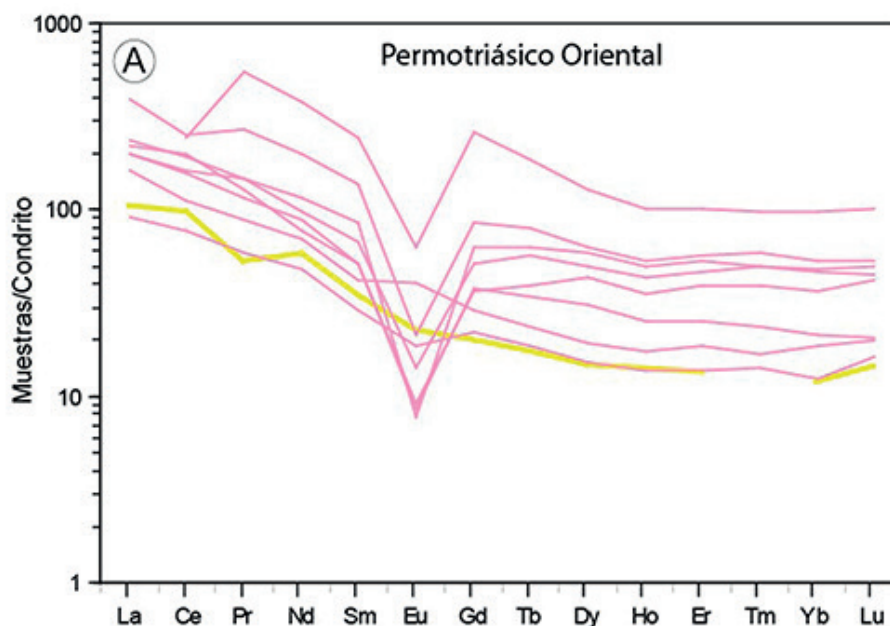


Figura 5. Diagrama Spider para Tierras Raras (REE) normalizadas al Condrito (meteoritos pétreos) en las rocas del Permotriásico de la Cordillera Oriental en donde se observan sus valores anómalos. En amarillo los valores promedio de la corteza. Eje X elementos de Tierras Raras. Eje Y Concentración de la muestra normalizada al condrito en escala logarítmica.

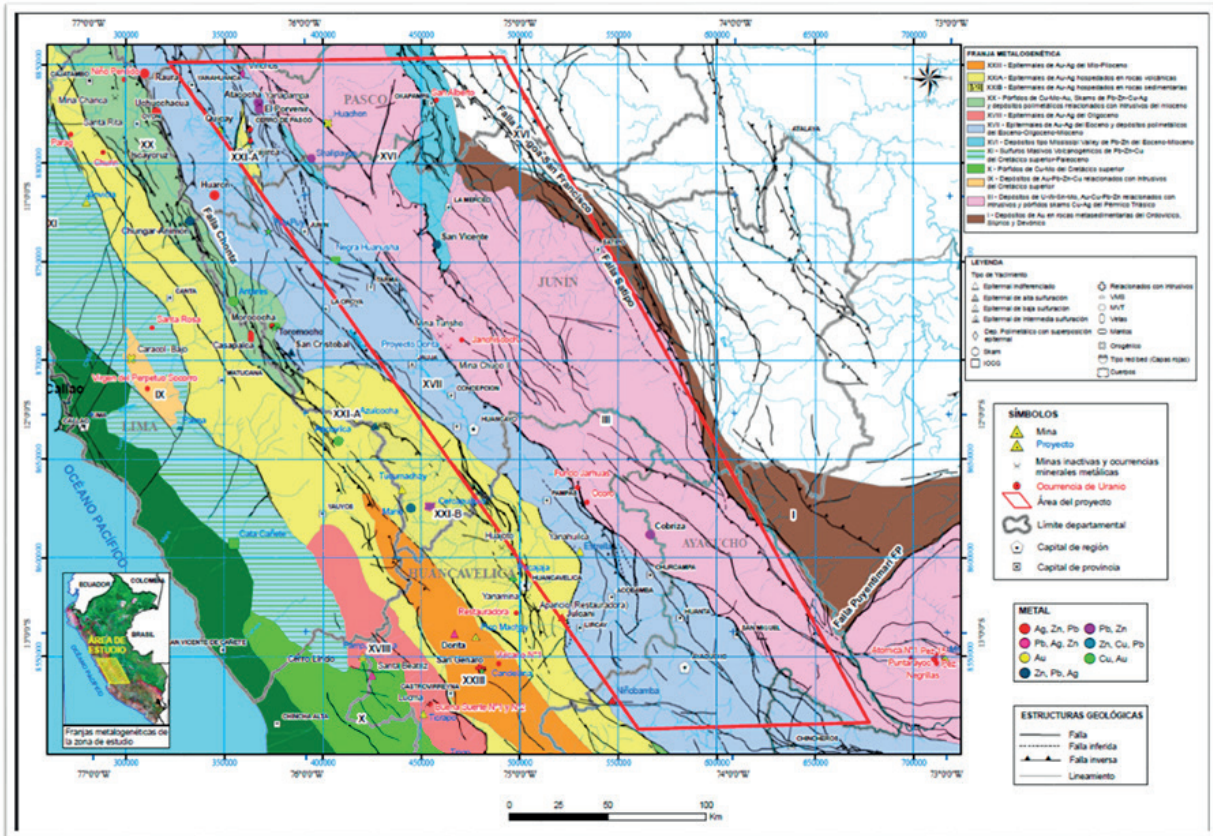


Figura 6. Mapa Metalogenético del área de estudio (Modificado de Acosta et al., 2009)

V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis colegas de la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos del Ingemmet por sus opiniones, aportes y sugerencias en la elaboración del presente artículo. Además, al agradezco al Profesor Máster Hugo Rivera Mantilla por su asesoría en la preparación de este trabajo y a las autoridades de Investigación de la UNMSM por la publicación del artículo.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Acosta, J.; Rivera, R.; Valencia, M.; Chirif, H.; Huanacuni, D.; Rodríguez, I.; Villarreal, E.; Paico, D. y Santisteban, A. (2009) – *Memoria del Mapa Metalogenético del Perú 2009*. Ingemmet. 17 p. Recuperado de http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/469411/2009_Memoria_Mapa_Metalogenico.pdf/3cb6c3b0-9ff9-4b6e-912e-8d01de41eaf4

Baumgartner, R.; Fontboté, L.; Álvarez, H.; Page, L y Ovtcharova, M., et al. (2006) - Geochronological, fluid Inclusion and isotopic constraints in the Cerro de Pasco district, Peru. En: *Congreso Peruano de Geología*, 13, Lima, 2006, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 700-703. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237554268_GEOCHRONOLOGICAL_FLUID_INCLUSION_AND_ISOTOPIC_CONSTRAINTS_IN_THE_CERRO_DE_PASCO_DISTRICT_PERU

Bohorquez, J.; Jara, R.; Mamani, Y.; Guerrero, L. y Villafranca, A. (2012). Ocurrencia de tierras raras en el Perú. Congreso

Peruano de Geología, 16, Lima, PE, 23-26 setiembre 2012, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2012, 5 p. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/292961951_Ocurrencias_de_tierras_raras_en_el_Peru_-_Occurrences_of_Rare_Earth_Elements_in_Peru

Cardona, A. (2006) - *Reconhecimento da evolução tectônica da proto-margem Andina do centro-norte Peruano, baseada em dados geoquímicos e isotópicos do embasamento da Cordilheira Oriental na região de Huánuco-La Unión*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo Instituto de Geociências, São Paulo, 198 p. DOI 10.11606/T.44.2006.tde-12082015-142221

Chew, D.M.; Schaltegger, U.; Kosler, J.; Fontignie, D.; Spinkings, R.A. y Miskovic, A. (2005) - Evolution of the Gondwanan margin of the northern Andes. En: *Swiss Geoscience Meeting*, 3, Zurich, 2005. Abstracts. Zürich: Geoforum, 2 p. Recuperado de https://geoscience-meeting.ch/sgm2005/SGM05_abstracts/02_Andes/02_PDF/Chew_talk.pdf

Chirif, H. (2011). El Perú cuenta con enorme potencial exploratorio en Tierras Raras. *Revista Energiminas*. 2011. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/0008201298a275ad05d86>

De la Roche, H.; Leterrier, J.; Grande Claude, P. y Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses – its relationships and current nomenclature. En: *Chem. Geol.*, 29, p 183-210. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90020-0)

Haeblerlin, Y. (2002) - Geological and structural setting, age, and geochemistry of the orogenic gold deposits at the Pataz

- Province, Eastern Andean Cordillera, Peru. Thèse Docteur, Université de Genève, Département de Minéralogie Genève, Terre and Environnement, 36, 182 p. Recuperado de <https://doc.rero.ch/record/2877/files/HaeberlinY-these.pdf>
- Le Bas, M.; Le Maitre, R.; Streckeisen, A. y Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. En: *J. Petrol*, 27,745-750. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>
- Noble, D.C. y McKee, E.H. (1999) - The Miocene metallogenic belt of central and northern Peru. En: Skinner, B.J., ed. *Geology and ore deposits of the Central Andes*. Littleton, CO: Society of Economic Geologists, Special Publication 7, p. 155-193. <https://doi.org/10.5382/SP.07.05>
- Quispe, J.; Carlotto, V.; Acosta, J.; Macharé, J. y Chirif, H., et al. (2008) - Mapa metalogénico del Perú 2008 (CD ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 14; Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- Rollinson, H.R (1993) - *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Essex: Longman, 352 p. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/241719411/Rollinson-Hugh-R-Using-geochemical-data-evaluation-presentation-interpretation-pdf>
- Samson, I. y Wood, S. (2004). The Rare Earth Elements: Behaviour in Hydrothermal Fluids and Concentration in Hydrothermal Mineral Deposits, exclusive of Alkaline settings. En: Linnen, R & Samson, I. eds. *Rare-Element: Geochemistry and Mineral Deposits*. Geological Association of Canada. Short Course Notes. Volume 17. p 269-297. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304097434_The_rare_earth_elements_Behavior_in_hydrothermal_fluids_and_concentration_in_hydrothermal_mineral_deposits_exclusive_of_alkaline_settings
- Shand, S. (1927). *The eruptive rocks*. John Wiley. New York.
- Únger, T. (2009). Unos minerales muy necesarios. En: *Diario El Comercio* 17 noviembre del 2009.