

Controles Litogeoquímicos, Metalogenéticos y Exogénicos en rocas del Centro del Perú y su Relación con las Tierras Raras (REE)

Lithogeochemical, Metallogenetic and Exogenic Controls in Rocks of Central Peru and their Relationship with Rare Earth Elements (REE)

Michael Valencia Muñoz¹  A. A. Santisteban¹ 

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima. Perú

Resumen

Basado en concentraciones interesantes de elementos de Tierras Raras en batolitos y stocks, realizamos un muestreo selectivo con 234 datos geoquímicos, los cuales indican que las rocas permotriásicas tienen una tendencia alcalina y las rocas volcánicas una tendencia toleítica. En el Carbonífero son alcalinas, y se han reconocido algunas muestras de rocas peralcalinas. Además, hay intrusivos permotriásicos peraluminosos y peralcalinos, con lavas permotriásicas más peraluminosas, así como intrusivos carboníferos. Por otro lado, existen cuerpos intrusivos de composición peralcalina que muestran concentraciones anómalas de REE y rocas evolucionadas con contaminación cortical y alto potencial geológico para depósitos minerales en REE.

Los afloramientos metasedimentarios paleozoicos están relacionados con la franja I como en Huachon (Au) en intrusivos carboníferos relacionados con el Batolito de Pataz. También hay un abundante plutonismo Carbonífero-Permotriásico, generando skarns como Cobriza relacionado con la franja III. En la cuenca del Grupo Pucará, tiene San Vicente, Shalipayco y Pichita Caluga con chimeneas de Zn-Pb en la franja XVI de MVT, relacionadas con las deformaciones del Eoceno y Mioceno.

Más al oeste, Huaron tiene intrusiones relacionadas con el vulcanismo y magmatismo del Eoceno con centros volcánicos y stocks, generando mineralización de alta sulfuración de Au-Ag-Cu de la franja XVII como Quicay.

En el Mioceno-Plioceno tenemos stocks subvolcánicos y diatremas en Julcani, Colquijirca, Cerro de Pasco, Milpo-Atacocha en la franja XXI-A de epitermales en Au-Ag, y San Genaro en la franja XXIII de epitermales en Au-Ag del Mio-Plioceno.

Además, los procesos supergénicos (exógenos) han influenciado la generación de depósitos en la parte oriental del estudio, con condiciones lluviosas en selva húmeda, generando en la actualidad la distribución de depósitos minerales (Metalogenia).

Por lo tanto, las características petrológicas de las rocas ígneas indican procesos como la cristalización fraccionada, contaminación, asimilación y fusión parcial que controlan la distribución de elementos químicos, condicionados por eventos tectónicos posteriores, expresados en su Metalogenia, donde finalmente, los procesos supergénicos (exógenos) como últimos procesos, han influenciado la generación de depósitos principalmente en la parte oriental del área de estudio.

Palabras clave: Litogeoquímica, Tierras Raras, franjas metalogenéticas, procesos exogénicos

Abstract

Based on interesting concentrations of REE elements in batholiths and stocks, we made a selective sampling with 234 geochemical data, which indicate permotriassic rocks are of alkaline tendency and volcanic rocks are of toleitic tendency. In the Carboniferous they are alkaline, and some samples of peralkaline rocks have been recognized. Besides, they are permotriassic, peraluminous and pear-alkaline intrusives, with more peraluminous permotriassic lavas, as well as carboniferous intrusives. Besides that, there are intrusive bodies of peralkaline composition that show anomalous REE concentrations and evolved rocks with cortical contamination and high geological potential for mineral deposits in REE.

Paleozoic metasedimentary outcrops, are related to Belt I as in Huachon (Au) in carboniferous intrusions related to the Pataz Batolith. There is also abundant Carboniferous-Permotriassic plutonism, generating skarns like Cobriza related to Belt III. In the Pucara Group Basin, it has San Vicente, Shalipayco and Pichita Caluga with shootes of Zn-Pb in the Belt XVI of MVT, related with to the deformations of the Eocene and Miocene.

Further west, Huaron has intrusions related to Eocene volcanism and magmatism with volcanic centers and stocks, generating high-sulfidation mineralization of Au-Ag-Cu from the Belt XVII as Quicay.

In the Miocene-Pliocene we have subvolcanic stocks and diatremes in Julcani, Colquijirca, Cerro de Pasco, Milpo-Atacocha in the Belt XXI-A of epithermal in Au-Ag, and San Genaro in the Belt XXIII of epithermal in Au-Ag del Mio -Pliocene.

Furthermore, supergenic (exogenous) processes have influenced the generation of deposits in the eastern part of the study, with rainy conditions in wet jungle. generating at present distribution of mineral deposits (Metallogeny).

Therefore, petrological characteristics of igneous rocks indicate processes such as fractional crystallization, contamination, assimilation and partial fusion that control the distribution of chemical elements, conditioned by subsequent tectonic events, expressed in their Metallogeny, where finally, the supergenic (exogenous) as last processes, have influenced the generation of deposits mainly in the eastern part of the study area.

Keywords: Lithochemisrty, Rare Earth Elements, metallogenic belts, exogenic processes.

INTRODUCCIÓN

Las tierras raras (REE) representan a un grupo de elementos químicos comprendidos entre el lantano y el lutecio, y a los que se suman por sus propiedades similares el escandio e itrio. Se componen de una mezcla de óxidos e hidróxidos (Samson y Wood, 2004).

Debido a sus características físicas y químicas similares, tienen aplicación en diversos artefactos electrónicos y tienen una importante demanda industrial en el mundo (Unger, 2009).

En el Perú rocas relacionadas con estos elementos son intrusivos de batolitos y stocks de tendencia alcalina a peralcalina, también relacionados 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 en el Perú de importancia.

Potencial para estos depósitos, están las rocas de tendencia alcalina del centro del Perú relacionadas al Batolito de San Ramón en Junín (Chirif, 2011) y en las ocurrencias secundarias de REE en ríos amazónicos colindantes a la Cordillera Oriental del centro del Perú (Bohorquez et al., 2012) con regolitos provenientes de estos batolitos.

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 centro del Perú, en

especial las de REE y de uranio.

- Determinar anomalías geoquímicas en 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.

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 analizaran 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.

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).

Se realizaron descripciones petromineralógicas de muestras seleccionadas y representativas de la zona de por franja metalogénicas determinándose la influencia de los procesos exogénicos y comparándolas con la información metalogénica y geológica.

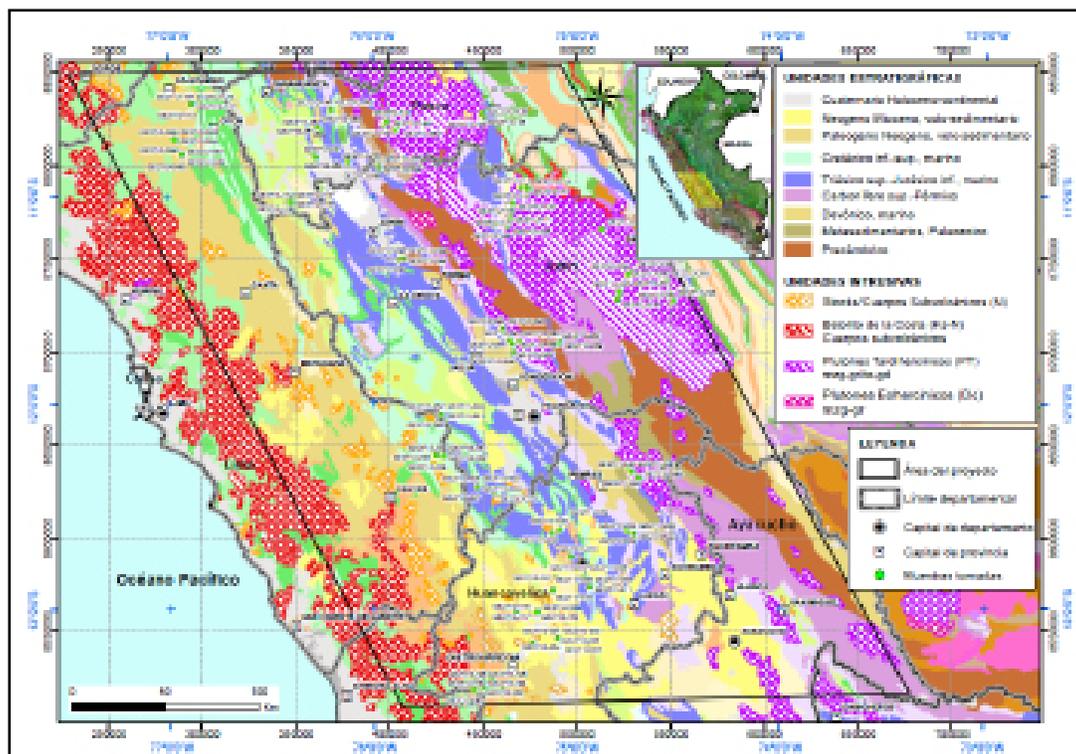
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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).

Figure 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



Litogeoquímica

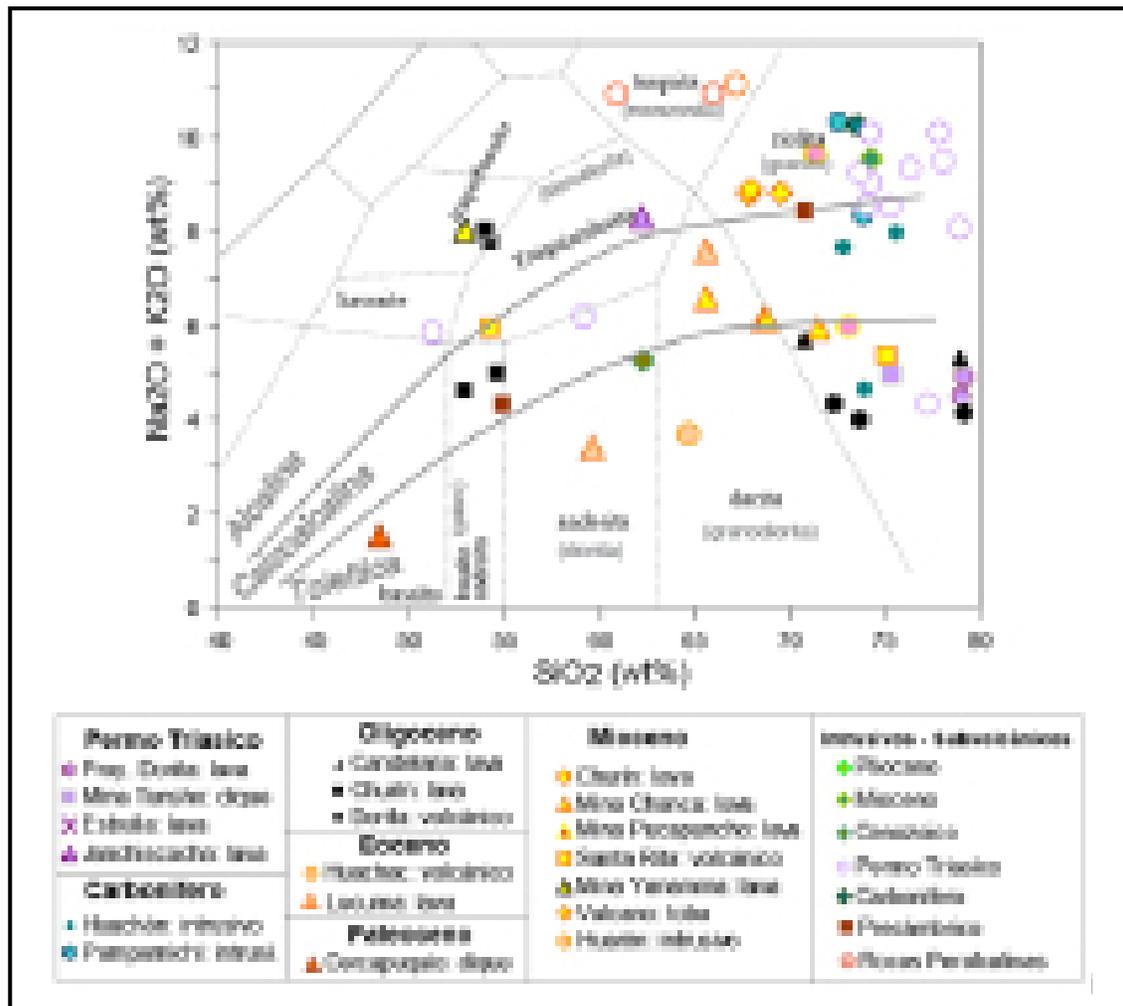
En base al diagrama de álcalis totales vs sílice (TAS) de Le Bas et al. (1986) se ha determinado que en la zona de estudio tenemos rocas alcalinas, calcoalcalinas y toleíticas (Figura 2).

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 REE.

Las rocas pertenecientes al Permtriásico son generalmente de intrusivos alcalinos o de tendencia alcalina; mientras sus volcánicos Permtriásicos son generalmente toleíticos.

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)



En el Carbonífero las rocas tienen una tendencia alcalina. Asimismo, se ha reconocido una serie de rocas peralcalinas ubicadas en el extremo superior del diagrama.

Mientras en el Oligoceno tenemos que las 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.

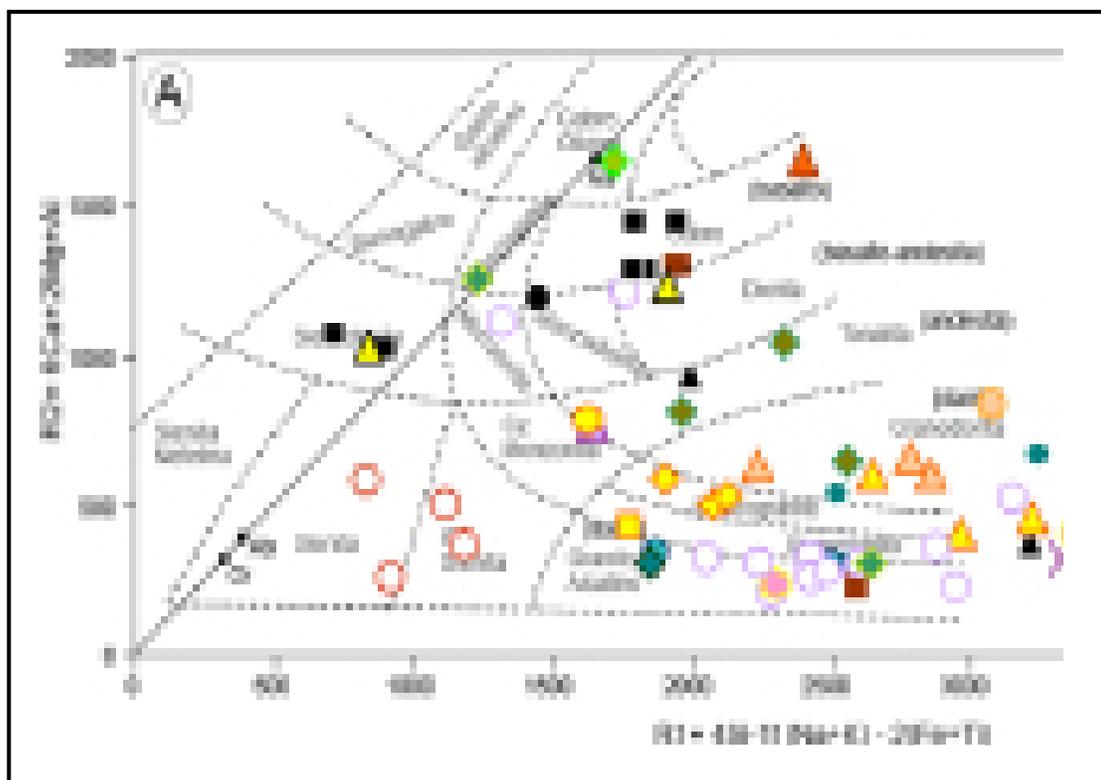
Las intrusiones del Cenozoico de cuerpos subvolcánicos y lavas del Cenozoico son calcoalcalinas; mientras ciertas lavas y cuerpos subvolcánicos tienen tendencia alcalina.

En base al diagrama de R1-R2 (Figura 3) de 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.

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



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.

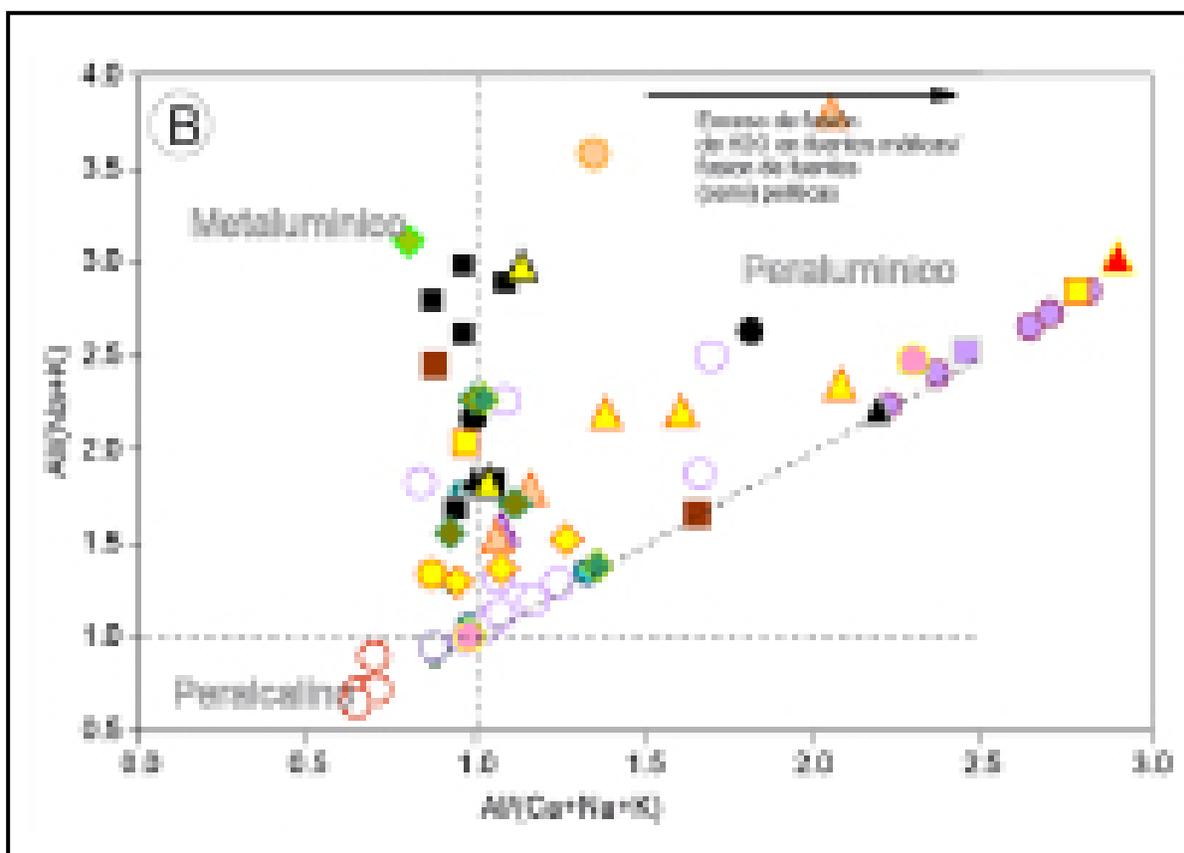
Los cuerpos subvolcánicos y lavas cenozoicas son andesitas; mientras las lavas miocenas y pliocenas son andesitas basálticas.

Asímismo, 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.

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



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 REE anómalas (Tabla 1 y Figura 5).

De la misma forma en el diagrama de REE (Figura 5) muestra unas rocas intrusivas bastante evolucionadas con enriquecimiento de REE pesadas.

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 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 REE en el centro del Perú, 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 TREO (total de óxidos de REE).

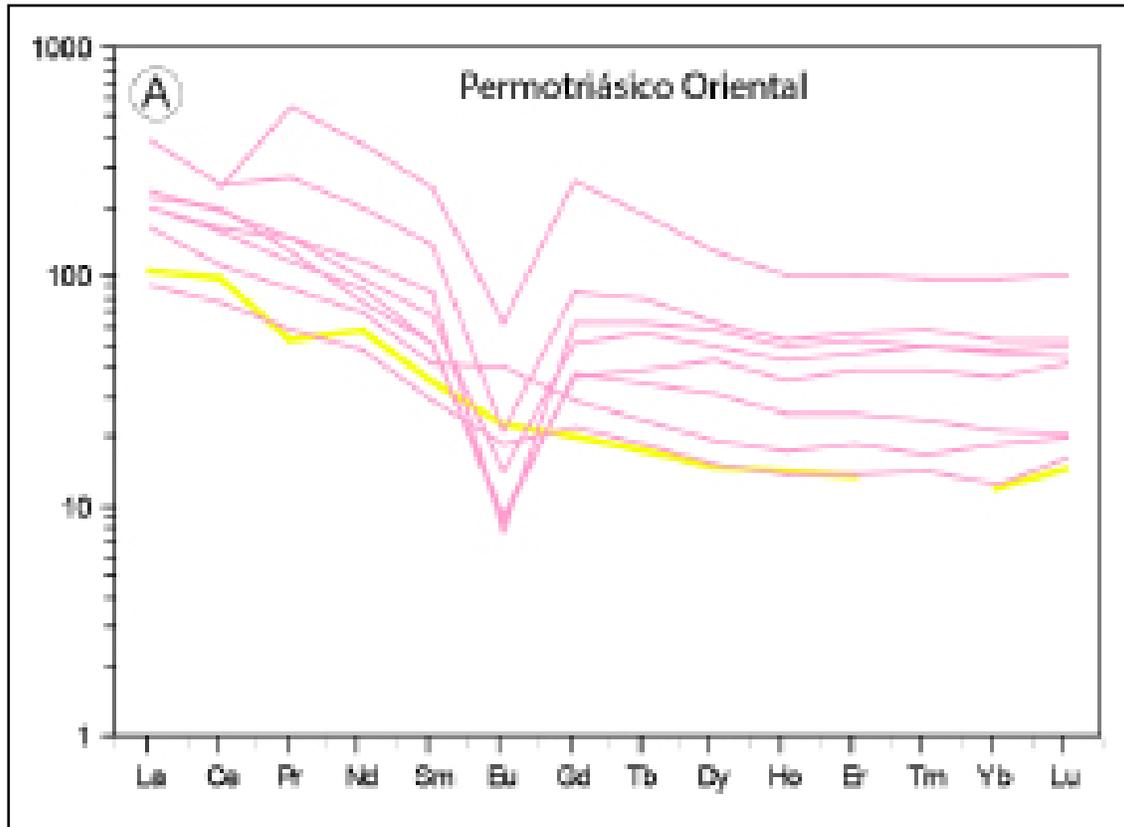
Tabla 1

Abundancia de las Tierras Raras 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 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



METALOGENIA

Franjas Metalogénicas

Los depósitos estudiados en el área de estudio se distribuyen en cinco franjas metalogénicas:

Franja I de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Siluro-Devónico; Franja III depósitos de U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos y pórfidos skarns Cu-Ag del Pérmico Triásico; Franja XVI de depósitos tipo Mississippi Valley (MVT) de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno; Franja XVII de epitermales de Au-Ag del Eoceno y depósitos polimetálicos del Eoceno-Oligoceno-

Mioceno; y Franja XXI-A de epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas (Quispe et al., 2008). También se ha reconocido áreas con potencial de depósitos de uranio y de Tierras Raras.

Estas franjas están controladas por unidades geológicas, con una tendencia marcada por la tectónica andina, que ha condicionado la distribución de los depósitos minerales.

Enriquecimiento de depósitos

A los afloramientos en rocas metasedimentarias, del Ordovícico y Siluro-Devónico ubicados a ambos flancos de la Cordillera Oriental se los relaciona con la Franja I de Au.

En el sector más oriental, una serie de intrusiones carboníferas (intrusivo de Ranyac) se le relaciona al Batolito de Pataz, en donde se emplazaría el depósito de Huachón.

Este magmatismo comprende un plutonismo Carbonífero-Permotriásico, con leucogranitos y granitos rojos de Tarma, San Ramón, Chaglla (Sánchez y León, 1995); un intrusivo asociado a este plutonismo habría generado el skarn de Cobriza.

Estarían relacionadas con los depósitos de la franja III de U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn asociados con intrusivos y pórfidos con skarns de Cu-Ag del permotriásico.

En capas rojas permotriásicas, Negra Huanusha comprende cobre impregnado en las areniscas, producido por procesos continuos de acumulación y diagénesis de capas rojas, producto de la erosión post-permiana y la actividad magmática contemporánea (Kobe, 1990).

Al este, en las cuencas permotriásicas tenemos los depósitos de San Vicente (40 Ma), Shalipayco y Pichita Caluga de cuerpos estratiformes de Zn-Pb hospedados en facies dolomíticas de la Formación Chambará.

Los isótopos de plomo indican una lixiviación de material volcánico infrayacente y una precipitación en horizontes dolomíticos sulfatados (Quispe et al., 2007), relacionados distalmente, con las deformaciones tectonomagmáticas del Eoceno y Mioceno

(Mégard, 1987) de la Orogenia Andina (Fases Inca y Quechua). Se los relaciona con la franja XVI de depósitos tipo Mississippi Valley (MVT) de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno.

Más al oeste, tenemos a Huarón e intrusiones relacionadas al vulcanismo como los epitermales de Quicay.

El magmatismo Eoceno afectó esta zona mediante stocks y centro volcánicos, generando la mineralización de alta sulfuración de Au-Ag-Cu de Quicay (37.5 Ma, Giletti y Day, 1968).

Todos estos depósitos se relacionan con la Franja XVII.

Finalmente, en el Mioceno-Plioceno tenemos cuerpos subvolcánicos y diatremas en Julcani, Colquijirca, Cerro de Pasco, de la franja XXI-A de Epitermales de Au-Ag, y en el depósito relacionado a intrusivos de San Genaro, de la franja XXIII de epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno.

El magmatismo del Mioceno se relaciona con la mineralización del skarn de Zn- Pb-Ag-Cu de Milpo-Atacocha (25.9 ± 1.5 y 29.8 ± 2.5 Ma, Soler et al., 1988) y de Vinchos (23 Ma por Lavado y Farfán, 2008).

En Cerro de Pasco existen depósitos epitermales y polimetálicos, relacionados con complejos y domos del Mioceno medio que generaron los yacimientos polimetálicos de Pb-Zn-Cu (aproximadamente 14.5-10.9 Ma, Baumgartner et al., 2006), al igual que Colquijirca (10.6–10.8 Ma, Bendezú et al., 2003) y el pórfido de Cu de Puy (7 Ma, Singer et al., 2005) de la franja XXI-A. Más al sur de estos yacimientos, se observa el depósito relacionado con intrusivos de San Genaro (datado en 11.1 ± 0.3 Ma por Wise, 2005).

PROCESOS EXOGÉNICOS

Muestras de la franja I de rocas metamórficas, tiene alteraciones argílicas de rocas pelíticas por meteorización química de los feldespatos en clima lluvioso de selva alta.

Las vetas de cuarzo que las contienen sufren el incremento y la retracción en el volumen por su naturaleza arcillosa, altamente higrófilos debido a su capacidad de absorber agua, hinchándose, derivándose en tensiones en el espesor rocoso alcanzado por la humedad y los cambios térmicos ambientales, capaces de generar importantes sistemas de rupturas, que pueden producir en material fluvial, materia prima de los placeres de oro.

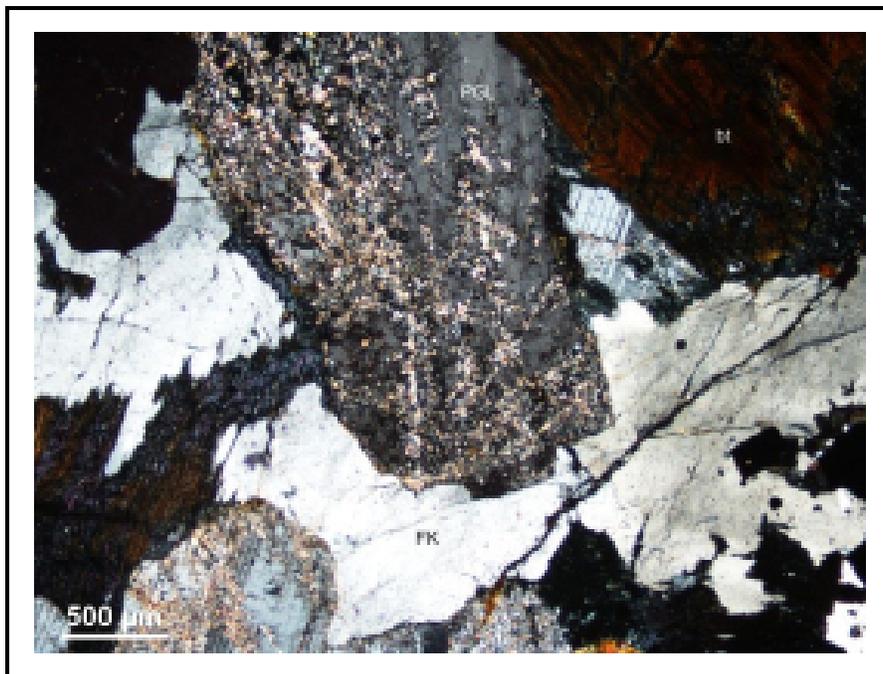
En la franja III, tiene una fuerte alteración supérgena de las arcillas (Fotografía 1) producto

de la meteorización hidrolítica de determinados elementos de los minerales, que tiene como consecuencia la ruptura de los sistemas de cristalización de silicatados y alumínicos silicatados de las rocas (micas, feldespatos, etc.), destruyendo su estructura cristalina originaria y dando lugar a la progresiva separación de sílice de los elementos con los que se combina, a la neoformación de minerales arcillosos y a la liberación de los elementos metálicos en forma de hidróxidos.

Adicionalmente ocurrió un proceso previo de meteorización biológica, por la acción de las raíces de árboles y arbustos, que al introducirse en el subsuelo ensanchan las grietas que puedan existir y colaboran en la fracturación de las rocas.

Fotografía 1

Intrusivo sienogranito con feldespato potásico (FK), plagioclasa (PGL), cuarzo, biotita (bt) cloritizándose y minerales opacos diseminados. Todo con fuerte argilitización supérgena y máficos epidotizados (Muestra 22i-R-078A)



En esta franja, las condiciones del intrusivos tipo granito como roca fuente de uranio (rocas fértiles), hacen posible la existencia de depósitos de uranio relacionados a la presencia de rocas sedimentarias recientes, producto de la disgregación mecánica (meteorización física).

Estos procesos, originan los depósitos tipo Uranio en areniscas, asociados con depósitos con abundante material orgánico de plantas (Pirajno, 2009), característicos del clima lluvioso de selva alta de este sector.

La franja XVI de depósitos tipo Mississippi Valley tiene minerales formados después de la sedimentación del Grupo Pucará (el agua de mar concentra iones de metal y absorbe al Zn y Pb), debido a un proceso del ambiente supratidal de bajo PH y alto EH que movilizó a las partículas de Zn, Pb (Kohler, 1991).

Post-genéticamente, las salmueras de la cuenca habrían sido expulsadas por compactación y habrían lixiviado a las rocas de basamento.

Luego, habrían transportado elementos base por fallas y otras estructuras, para luego precipitar en las facies carbonatadas porosas en un ambiente reductor, gracias a la presencia de materia orgánica.

De este modo se dolomitizó y mineralizó a las calizas con capas de esfalerita y algo de galena; por ello, se observan brechas rellenas de material mineralizante.

Otra vez las características ambientales superficiales contemporáneas con la mineralización de edad Eoceno-Mioceno (Acosta et al.,2009) y que prácticamente han permanecido hasta la actualidad, ha posibilitado la formación de este depósito.

Para la franja XVII, las actuales condiciones ambientales difieren de la parte oriental; sin embargo antiguos paleoambientes originaron en Negra Huanusha la precipitación de sulfuros de Cu estaría controlada por difusión hacia arriba de los iones de Cu, desde las partes inferiores de las areniscas, debido a un gradiente de concentración (Sawlowicz y Wedepohl, 1992).

Este gradiente contiene unos fluidos con concentraciones saturadas de Cu de origen incierto, pero podría deberse a una fuente de diagénesis de rocas cercanas a cuerpos ígneos (Pirajno, 2009).

Para la franja de epitermales XXI-A y los demás depósitos de uranio las condiciones superficiales-ambientales influyen menos y en todo caso incluyen otros procesos hidrotermales hipógenos y supergénicos discutidos en otros capítulos.

CONCLUSIONES

En base a estos resultados y los análisis multielementales, tenemos cuerpos de intrusivos de tendencia peralcalina en la Cordillera Oriental del Perú Central en donde hay zonas con concentraciones de 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 REE en el centro del Perú.

Asimismo, vemos que los procesos supergénicos (exogénicos) han influido en la generación de depósitos de la parte oriental de la zona de estudio, donde las condiciones lluviosas de Selva Alta predominan.

De esta forma estos procesos contribuyen con distribuir los elementos químicos

concentrándolas debido a características climáticas diferentes de otros segmentos de nuestro territorio, generando la actual distribución de depósitos minerales (Metalogenia) en la Cordillera Oriental del centro del Perú.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis colegas y a la Dirección de Recursos Minerales y Energéticos del Ingemmet por sus opiniones, aportes y sugerencias en la elaboración del presente artículo.

REFERENCIAS

- 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.
- Baumgartner, R.; Fontboté, L.; Álvarez, H.; Page, L.; Ovtcharova, M., et al. (2006). Geochronological, fluid Inclusion and isotopic constraints in the Cerro de Pasco district, Peru. Congreso Peruano de Geología, 13, Resúmenes extendidos Lima, 2006, Lima: Sociedad Geológica del Perú, (pp. 700-703)
- Bendezú, R.; Fontboté, L. y Cosca, M.A. (2003). Relative age of cordilleran base metal lode and replacement deposits, and high sulfidation Au-(Ag) epithermal mineralization in the Colquijirca mining district, central Peru. *Mineralium Deposita*, 38(6): 683–694.
- Bohorquez, J.; Jara, R.; Mamani, Y.; Guerrero, L. y Villafranca, A. (2012). Ocurrencia de tierras raras en el Perú. Congreso Peruano de Geología 16, Resúmenes extendidos, Lima, PE, 23-26 setiembre 2012. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2012, 5 p.
- Chirif, H. (2011). El Perú cuenta con enorme potencial exploratorio en Tierras Raras. *Revista Energiminas*. 2011.
- 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. *Chem. Geol.*, 29, (pp. 183-210).
- Gilletti, B.J. y Day, H. (1968). Potassium-argon ages of igneous intrusive rocks in Peru. *Nature*, 220: 570-572.
- Kobe, H. (1990). Stratabound Cu- (Ag) deposits in the Permian Mitu Red-bed formations, Central Peru. En: Fontboté, L.; Amstutz, G.C.; Cardozo, M.; Cedillo, E. y Frutos, J., eds. *Stratabound ore deposits in the Andes*. Berlin: Springer-Verlag, (pp.123-127)
- Kohler, S. (1991). Estudio geológico y geoestadístico de la estructura San Vicente - Zona norte Mina San Vicente, Provincia de Chanchamayo (Junín). Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 155 p.
- Lavado, M. y Farfán, C. (2008). Reinterpretación geológica; aspectos geoeconómicos, retos y logros en la exploración del yacimiento Vinchos. Congreso Peruano de Geología, 14; Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Resúmenes, Lima, 2008. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- 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. *J. Petrol*, 27,745-750.

- Mégard, F. (1987). Cordilleran Andes and marginal Andes: a review of Andean geology north of the Arica elbow (18°S). Monger, J.W.H. y Francheteau, J., eds. Circum-Pacific orogenic belts and evolution of the Pacific Ocean Basin. Washington, DC: American Geophysical Union, Geodynamic Series, 18, (pp. 71-95).
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal processes and mineral systems. Berlin: Springer, 1250 p.
- Rollinson, H.R (1993). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: Longman, 352 p.
- Sawlowicz, Z. y Wedepohl, K.H. (1992). The origin of rhythmic sulphide bands from the Permian sandstones (Weissliegendes) in the footwall of the Fore-Sudetic "Kupferschiefer" (Poland). *Mineralium Deposita*, 27(3): 242-248.
- Singer, D.A.; Berger, V.I.; Menzie, W.D. y Berger, B.R. (2005). Porphyry copper deposit density. *Economic Geology*, 100(3): 491-514.
- Soler, P. y Bonhomme, M.G. (1988). Oligocene magmatic activity and associated mineralization in the polymetallic belt of central Peru. *Economic Geology*, 83(3): 657-663.
- Quispe, J.; Carlotto, V.; Rodríguez, R. y Huanacuni, D. (2007). Informe sobre la metalogenia del Perú Central-Norte, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 31 p.
- Quispe, J.; Carlotto, V.; Acosta, J.; Macharé, J.; Chirif, H., et al. (2008). Mapa metalogenético del Perú 2008 (CD ROM). Congreso Peruano de Geología, 14; Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Resúmenes. Lima, 2008. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- Samson, I. y Wood, S. (2004). The Rare Earth Elements: Behaviour in Hydrothermal Fluids and Concentration in Hydrothermal Mineral Deposits, exclusive of Alkaline settings. Linnen, R y Samson, I. eds. Rare-Element: Geochemistry and Mineral Deposits. Geological Association of Canada. Short Course Notes. Volume 17. (pp. 269-297).
- Sánchez, A. y León, W. (1995). Rocas Ígneas. *Geología del Perú. Bol.Cart.Geol.Nac. N°55. Ingemmet Serie A*, (pp. 87-129).
- Shand, S. (1927). The eruptive rocks. John Wiley. New York.
- Únger, T. (17 noviembre del 2009). Unos minerales muy necesarios. *Diario El Comercio*
- Wise, J.M. (2005). Undulatory silver-rich polymetallic veins of the Castrovirreyna district, Central Peru: fault growth and mineralization in a perturbed local stress field. *Economic Geology*, 100(4): 689-705.