



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Elementos estratégicos, una posibilidad de exploración en la Cordillera Oriental del sur del Perú desde una perspectiva petrogenética

Dante, Soberón<sup>1</sup>; Sandra Tica<sup>2</sup>; Walter, Ccallo<sup>1</sup>; Rildo Rodríguez<sup>1</sup> & Mirian Mamani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Av. Canadá N° 1470 San Borja- Lima.

<sup>2</sup>Universidad Nacional del Altiplano – Puno

[dsoberon@ingemet.gob.pe](mailto:dsoberon@ingemet.gob.pe)

### RESUMEN

Nuestro país es conocido mundialmente como un país minero, pues es un destino favorable para la exploración y explotación de Au, Ag, Cu, Zn y Sn. Pero es necesario preguntarnos ¿Son estos elementos nuestro único potencial? o ¿Podemos orientar exploraciones por otros elementos?, a lo que queremos responder con este resumen. Los Elementos Estratégicos (Critical Raw Mineral Material), se definen como materias primas que son económica y estratégicamente importantes para la economía de una nación, pero tienen un alto riesgo asociado con su oferta. Es concluyente entonces que con el pasar de los años se hará necesario la búsqueda de ciertos elementos que contribuyan a la sostenibilidad de las naciones y por ende del planeta. Como parte de la actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1/ 50 000, se desarrolló el estudio petrogenético del Batolito de la Cordillera Oriental; que se completó para la región Puno, para lo cual se interpoló resultados cartográficos, petrográficos, geoquímicos y geocronológicos. El análisis de los resultados nos permiten avizorar una posibilidad de desarrollo de exploración por algunos elementos considerados estratégicos, estos son el U, Th, Li, Nb y Ta. A lo largo de este corto resumen se mostrará como los estudios de petrogenesis han aportado ideas para la exploración de los recursos considerados estratégicos.

**Palabras Clave.-** Elementos estratégicos, Cordillera Oriental

### ABSTRACT

Our country is known worldwide as a mining country, as it is a favorable destination for the exploration and exploitation of Au, Ag, Cu, Zn and Sn. But it is necessary to ask ourselves: Are these elements our only potential? Or can we guide explorations by other elements?, to which we want to respond with this summary. The Strategic Elements (Critical Raw Mineral Material) are defined as raw materials that are economically and strategically important for a nation's economy, but have a high risk associated with their supply. It is conclusive then that over the years it will become necessary to search for certain elements that contribute to the sustainability of nations and therefore of the planet. As part of the updating of the National Geological Chart at 1 / 50,000 scale, the petrogenetic study of the Batolito de la Cordillera Oriental was developed; which was completed for the Puno region, for which cartographic, petrographic, geochemical and geochronological results were interpolated. The analysis of the results allow us to foresee a possibility of development of exploration by some elements considered strategic, these are the U, Th, Li, Nb and Ta. Throughout this short summary it will be shown how petrogenesis studies have contributed ideas for the exploration of resources considered strategic.

Keywords.- Strategic elements, Eastern Cordillera

## MARCO GEOLÓGICO

El área en estudio comprende los afloramientos del Batolito de la Cordillera Oriental en la región Puno. Las rocas más antiguas en esta zona corresponden a las series metamórficas del Complejo Iscaybamba, las que son cortadas por intrusivos gneisificados de la Unidad Cadenas. El paleozoico es el encajonante de mayor extensión, comprende una gruesa secuencia (~ 2000 m) de pizarras gris oscuras a negras, en algunas zonas con minerales producto de metamorfismo de contacto y fuerte foliación, las que se han atribuido al Grupo San José; sobreyace una potente sucesión (~ 2500 m) de areniscas y cuarcitas grises de la Formación Sandia. El Paleozoico superior comprende los Grupos Ambo, Tarma y Copacabana, mientras que el Mesozoico está representado por las secuencias volcánoclasticas del Grupo Mitu. La cobertura cenozoica corresponde a las tobas de la Formación Quenamari.

## PETROGÉNESIS

De la integración de datos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos se determinó las uni-

dades magmáticas que componen el Batolito de la Cordillera Oriental en la región Puno. En total se determinó la presencia de 1 súper unidad y 7 unidades (ver tabla 1), las que comprenden periodos de tiempo entre el Triásico superior y el Jurásico inferior. Respecto a la litología, es necesario mencionar que este batolito presenta una variedad composicional amplia; la cual varía desde gabros hasta sienogranitos, las que geoquímicamente corresponden principalmente a las serie Calcoalcalina y más restringidamente a la serie Alcalina (sienitas). Por otro lado, el índice de saturación de alúmina ubica a las diferentes rocas dentro de los campo metalumínico y peralumínico.

Además de las características resumidas en el párrafo anterior, es de vital importancia cuando se estudia petrogénesis de rocas ígneas; comprender los procesos magmáticos, es crucial entender que el magma experimenta una serie de procesos que cambian su composición química a medida que asciende. Los principales fuentes de contaminación de los magmas son la litosfera subcontinental, corteza continental inferior, media y superior. Cada una de estas fuentes tienen diferentes concentraciones en elementos estratégicos (<https://earthref.org/GERM/>).

Unidad Magmática	Edad (Ma) U-Pb	Estudio Geocronológico	Variación de facies	Características de minerales principales
Unidad Turamarca	236 Ma	Reitsma (2012)	Gabro - Diorita	Alto contenidos de olivino bajo el microscopio
Unidad Aricoma	235 - 228 Ma	Reitsma (2012); Dalmayrac et al. (1980); Miskovic et al. (2009)	Monzogranito con variaciones locales a sienogranito	Desarrollo de cristales de feldespato potásicos y turmalina
Unidad Limbani	~ 232 Ma	Miskovic et al. (2009)	Metamonzogranito	Plagioclasas con alteración incipiente de a sericita, feldespatos poiquilíticos y cuarzo con extinción ondulante
Súper Unidad Coasa	227 - 216 Ma	Reitsma (2012), Miskovic et al. (2009)	Monzogranito - sienogranito	Cristales desarrollados de feldespato potásico (microclina) con textura <i>Rapakivi</i>
Unidad San Gabán	198 - 193 Ma	Miskovic et al. (2009)	Monzogranito	Cristales desarrollados de plagioclasas y feldespatos; biotita alterada a clorita y óxidos
Unidad Ojecocho	~ 189 - 187 Ma	-	Granodiorita - monzogranito	Cristales de feldespatos potásicos y plagioclasas alterados a arcillas y sericita; biotita alterada a cloritas y óxidos de hierro; también minerales opacos como inclusiones y en intersticios
Unidad Ollachea	192 - 184 Ma	Miskovic et al. (2009)	Variaciones de Sienita	Feldespato potásico de color rosado y anfíboles alterados
Unidad Querayoc	Uncertainly	-	Granodiorita	Color blanquecino con excasos cristales de biotita

Tabla 1.- Unidades que conforman el Batolito de la Cordillera Oriental en la Región Puno.

## POSIBILIDADES EXPLORATORIAS

Para abordar el tema de alternativas y posibilidades de exploración, es necesario conocer la relación genética de las intrusiones con los elementos metálicos y estratégicos.

Una manera general de determinar la afinidad de los magmas con la concentración de elementos económicos es mediante el gráfico de  $Eu/Eu^*$  Vs  $FeO_{total}$ . En el diagrama se observa que para los sienogranitos y monzogranitos de Coasa hay afinidad con Sn y W.

Las unidades Aricoma, Limbani y Ojecocho presentan una relación con mineralizaciones polimetálicas de Mo-Zn-Pb. La unidad San Gabán no presenta un patrón definido en este diagrama.

Para determinar espacialmente las zonas con mayores concentraciones pusimos énfasis en los estudios petrográficos y análisis geoquímicos. Resalta que los granitoides de la Cordillera Oriental contienen el mineral accesorio Zinwaldita (mica litífera).

Geoquímicamente, en el perfil de concentraciones y teniendo como valores de fondo las concentraciones de los elementos traza de la Corteza Continental se identificó altas concentraciones de U y Th, hasta 10 veces el valor normal.

Los valores de Li con enriquecimiento hasta 50 veces en los granitoides triásicos. Mientras que los valores de Nb y Ta mostraban concentraciones de hasta 70 y 20 veces respectivamente en los intrusivos Jurásicos. Todos estos elementos son considerados para algunos países como estratégicos o cercanos a estratégicos. En el caso del Li se proyecta como un elemento estratégico para varios países.

¿Dónde está el Li, U y Th? es la primera pregunta que se tuvo; la respuesta la hallamos haciendo uso de la tabla periódica de elementos y sus iones para ciencias de la Tierra (Bernal y Railsback, 2008). Si analizamos esta tabla para Li, podemos inferir que este elemento puede reemplazar al Mg y Ca en los minerales bajo ciertas condiciones; tanto el Mg como el Ca se encuentran en minerales formadores de rocas ígneas, el primero en las biotitas y el segundo en plagioclasas.

Del estudio petrográfico se determinó que los intrusivos estudiados son ricos en biotita y feldespato potásico y en menor proporción plagioclasa

sódica, por lo que descartamos que plagioclasas puedan albergar el Li. Basado en la población mineralógica surgió otra interrogante ¿Es la biotita la que alberga el Li? para resolver esta interrogante se aprovechó que muchas de las muestras colectadas habían sido enviadas para separar zircones, en este proceso se separaron minerales máficos y félsicos. En el grupo de minerales máficos se separaron biotita y Lepidolita. Los minerales de biotita fueron enviados a laboratorio y analizados por el método ICP-MS del INGEMMET. Los resultados reportaron para el caso del U concentraciones de 163 ppm y Th hasta 346 ppm y las concentraciones de Li alcanzaban hasta los 4495 ppm. El análisis geoquímico en roca total y biotita revelan que los elementos U, Th y Li están directamente relacionados. A mayores concentraciones de U mayor cantidad de Li. Conociendo estas relaciones se realizó el análisis espacial (Figuras 1 y 2). Resultando que las mayores concentraciones de U, Th y Li se encuentran en la Súper Unidad Coasa. Mientras que para Nb y Ta las concentraciones altas se registran en las sienitas de la Unidad Ollachea y los volcánicos del Grupo Mítu.

## CONCLUSIONES

Los estudios petrogenéticos son de vital importancia al momento de determinar zonas genéticamente importantes para explorar por diferentes elementos.

Los estudios petrográficos sumados a la litogeoquímica permitieron determinar la relación entre los magmas y las ocurrencias de elementos estratégicos. En base a los resultados de análisis geoquímicos sobre roca total y biotita se concluye que los elementos Li, U y Th se incrementan en los magmas solo y cuando estos deriven de la fusión parcial de la corteza continental superior, donde U y Th son elevados, principalmente en rocas pelíticas.

Mientras que los elementos Nb y Ta están relacionados a magmas intracorticales, que derivan de la fusión parcial de litosferas subcontinentales de cratones.

## BIBLIOGRAFÍA

Bernal, J. & Railsback, L. (2008) - Introducción a la Tabla Periódica de los Elementos y sus Iones para Ciencias de la Tierra. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, núm. 2, p. 236 – 246.



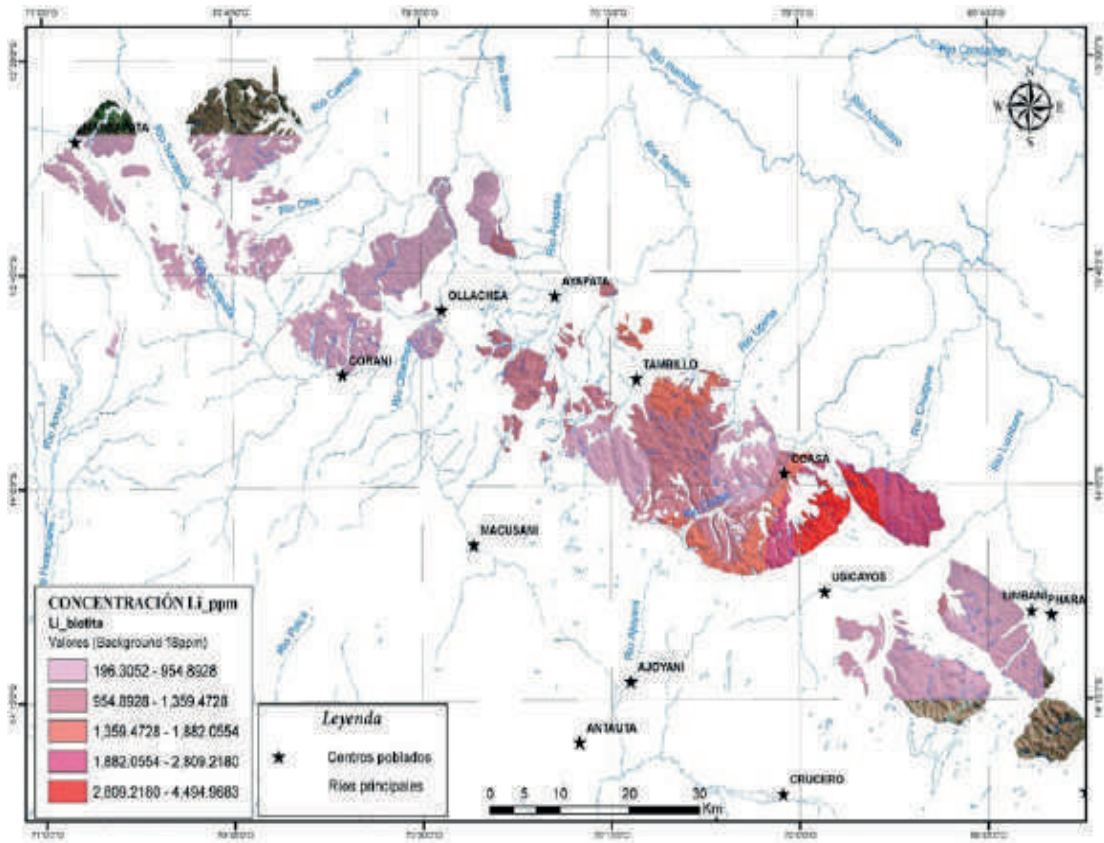


Figura 2.- Mapa de isovalores de Li en biotita para el Batolito de la Cordillera Oriental en la región Puno.

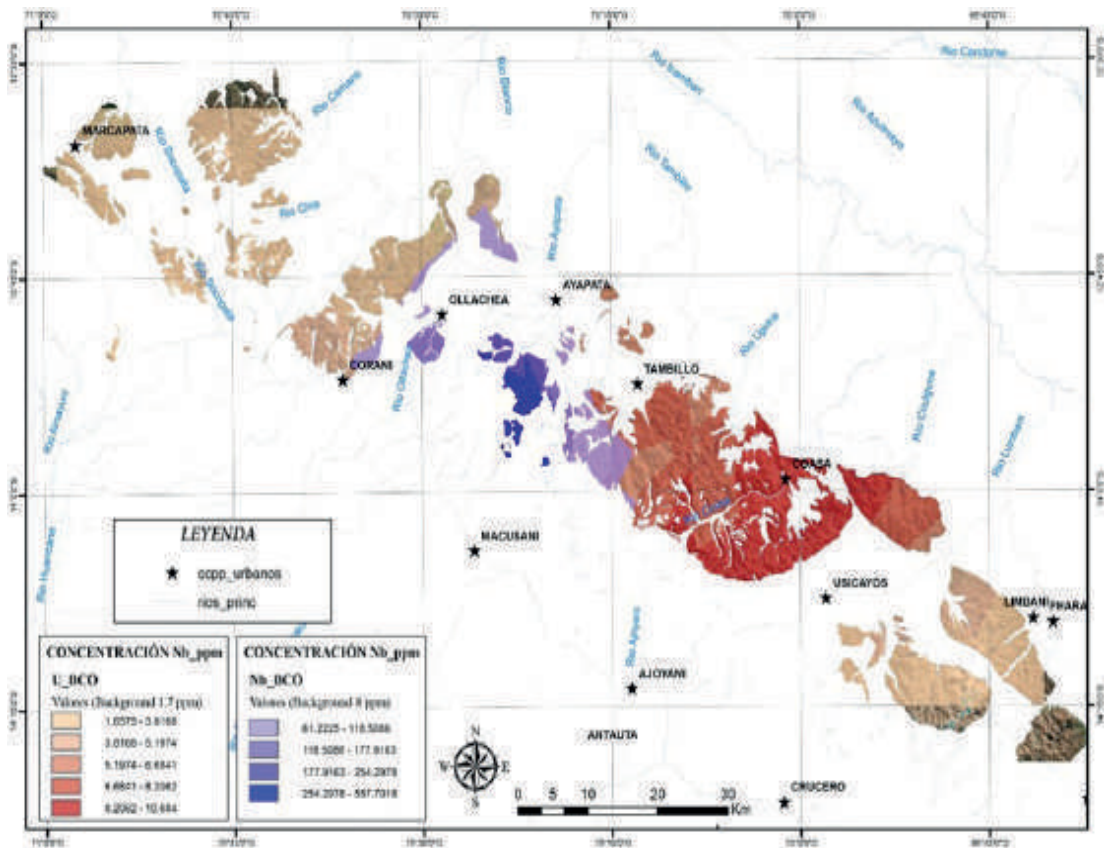


Figura 3.- Mapa de isovalores, mostrando las zonas con más altas concentraciones de U y Nb en el Batolito de la Cordillera Oriental en la región Puno.