

## **El magmatismo de la cordillera oriental, importante metalotecto para la presencia de uranio**

Jacinto Valencia\*, Enoc Mamani

Dirección de Servicios, División de Industria e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear  
Av. Canadá 1470, San Borja, Lima

### **Resumen**

Un análisis del aspecto estructural del dispositivo geotectónico andino para postular la condición por la cual se constituyen las unidades intrusivas de la Cordillera Oriental del Perú, como favorables para la presencia de uranio, comparadas con unidades intrusivas del Batolito de la Costa. Trabajos de campo iniciados durante la ejecución del Proyecto OIEA PER 02/016, indican que el Batolito de la Costa, de edad del mioceno y formado principalmente por material mantélico, por colisión de placas tectónicas, tiene menor contenido de uranio, en tanto que, rocas intrusivas de edad permo-triásica de la Cordillera Oriental, formadas por distensión, tienen mayor contenido de uranio, por su posición distante de la zona de subducción y origen de material cortical, que al ser removilizado, puede formar depósitos de uranio. Se postula un modelo conceptual el cual es una guía para las futuras exploraciones de uranio y una contribución al mejor conocimiento del potencial uranífero del Perú, donde se explica que en el Batolito de la Costa, predominan rocas intrusivas de composición calco-alcalina, mientras que hacia el Este, en la Cordillera Oriental, predominan rocas intrusivas de dimensiones batolíticas originadas por el magmatismo permo-triásico, integradas por rocas graníticas del tipo alcalino y con mayor contenido de uranio geoquímico, las que a nivel mundial guardan relación con depósitos de uranio.

### **Abstract**

An analysis of the structural aspect of Andean geotectonic device to apply the condition for which are intrusive units of the Eastern Cordillera of Peru as more favorable to the presence of uranium, compared with intrusive units of the Coast Batholith. Field work started in the IAEA Project PER 02/016, indicate that the Coast Batholith of miocene age consists primarily of mantle materials, collision of tectonic plates, has a lower uranium content. While intrusive rocks of permo-triassic age of the Eastern Cordillera, consisting of distention, have a higher content of uranium, by its position far from the subduction zone and origin of crustal material, which to be remobilized, can form uranium deposits. Postulate a conceptual model as a guiding instrument for uranium exploration, explains that in the Coast Batholith, intrusive rocks predominate calcic-alkaline composition, while to the east in the Eastern Cordillera, the intrusive batholithic rocks caused by permo-triassic magmatism consisting of alkaline granitic rocks and higher content of uranium geochemistry, are globally related to uranium deposits.

### **1. Introducción**

El territorio del Perú tiene una superficie de más de 700 000 km<sup>2</sup> de terrenos favorables para la ocurrencia de depósitos de uranio; sin embargo, en el pasado solo en el sureste del Perú se ha identificado recursos de uranio. En la actualidad y a fin de investigar el potencial uranífero nacional y promover las actividades de minería de uranio en el país, se postula un modelo conceptual de la favorabilidad uranífera.

El Batolito de la Costa es un orógeno que se constituye como un elemento favorable para

la presencia de depósitos hidrotermales de los metales base. Sin embargo, asociado a estos se han identificado numerosas ocurrencias de uranio, donde su contenido o es de baja ley o de pequeño tonelaje. Pero más al Este, al interior del territorio, existe otro cortejo de rocas intrusivas que desde el punto de vista químico y edad, tienen mayor relación con rocas de la corteza y basamento, y con mayor contenido de uranio, haciendo de este

---

\* Correspondencia autor: [jvalencia@ipen.gob.pe](mailto:jvalencia@ipen.gob.pe)

contexto intrusivo favorable para la presencia de uranio.

A fin de determinar la importancia de este tipo de ambiente, se ha efectuado un reconocimiento de campo y la toma de muestras de rocas de varios intrusivos, los que muestran un enriquecimiento en valores de uranio, de ahí el interés de estudiar estos intrusivos en su extensión e identificar diferentes facies y composición, sobre todo las de carácter alcalino y per-aluminoso.

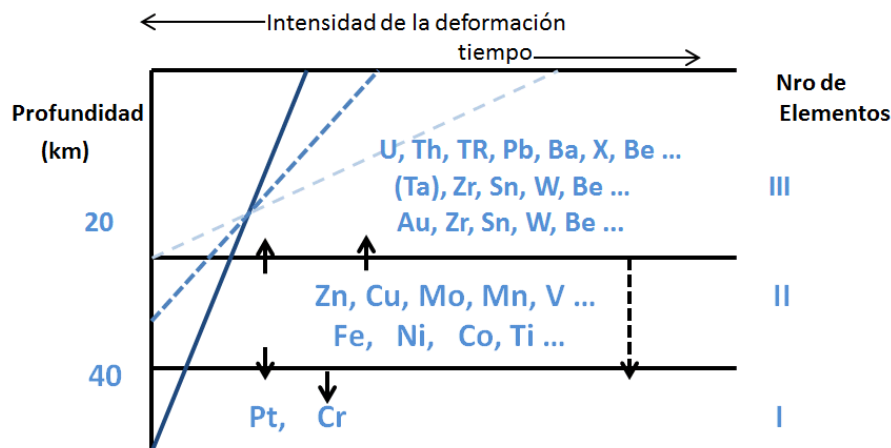
## 2. Metodología

La primera consideración es que existen antecedentes de las ocurrencias de uranio en distintos ambientes geológicos del territorio y han servido de sustento para formular el objetivo del Proyecto PER 02/016, que se ejecuta en el marco de la cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA); en segundo lugar, las características tectónicas del territorio, que configuran el diseño estructural al que se relaciona la presencia de uranio; en tercer lugar, el levantamiento de una nueva información de campo que ha consistido en la toma de muestras y de parámetros relativos a la geología del uranio, esto como resultado de una reciente visita a las zonas donde se presentan unidades intrusivas con anomalías radiactivas que serán estudiadas en el presente proyecto.

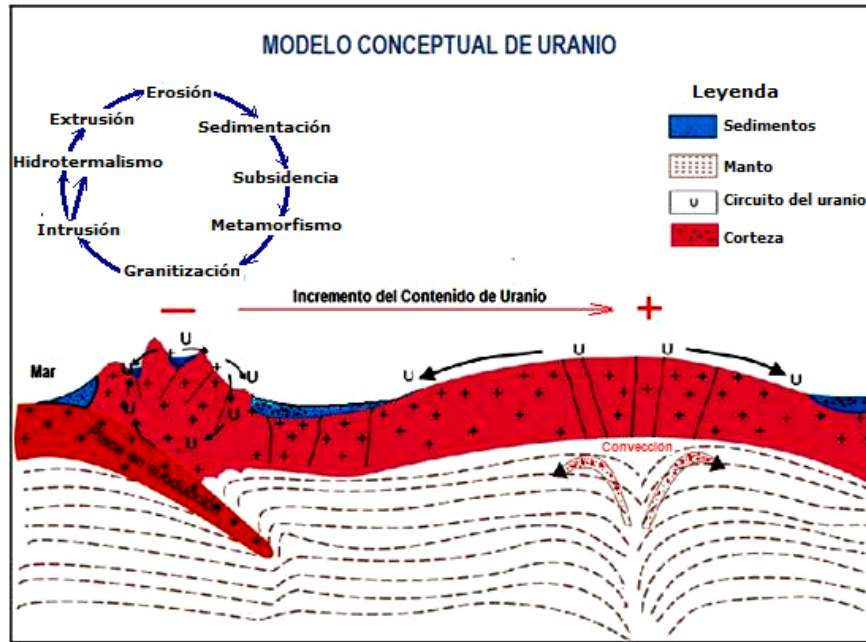
Igualmente, se han considerado trabajos anteriores, que consisten en reconocimiento de áreas uraníferas del territorio nacional, efectuados tanto por la ex-Junta de Control de Energía Atómica (JCEA) y el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) [1].

La investigación se fundamenta en el conocimiento del ciclo geoquímico del uranio en el contexto de la tectónica de placas en el país (Figura 1). La corteza terrestre y en ella, los cratones, son considerados como elementos que más concentran uranio primario y se ubican distantes de la zona de subducción [2]. Mediante la comparación de la composición química del Batolito Andino y de los intrusivos de edad permo-triásica de la Cordillera Oriental, se trata de identificar si se ha producido concentración de uranio en la misma unidad intrusiva (roca fuente) debido a la solubilidad, factores físico-químicos y estructurales para formar en la misma roca fértiles depósitos de uranio o estas soluciones hayan migrado de las partes altas hacia los bajos perimetrales y que el uranio alcance la cuenca y precipite en un medio sedimentario, formando depósitos en areniscas, conglomerados, etc. Tomando en consideración tanto valores anómalos, como los mecanismos y las condiciones geológico-estructurales, nos llevan a postular un modelo conceptual orientativo para la exploración de uranio en esta región (Figura 2).

## Ciclo Geoquímico del Uranio



**Figura 1.** Distribución esquemática de elementos en diferentes niveles de la corteza, las líneas diagonales indican distintos niveles e intensidades de deformación tectónica [3].



**Figura 2.** Modelo Conceptual de la concentración natural de uranio.

### 3. Resultados y Discusión

El magmatismo de la Cordillera Oriental, distante de la zona de subducción se caracteriza por presentar facies en algunos cuerpos intrusivos con una composición de carácter alcalino, los que presentan en unos casos, anomalías radiactivas (identificadas) y en otros, un contenido químico de uranio y radiactividad más elevada que el “back ground” de estas rocas (>4 ppm), aspectos que necesitan ser estudiados.

En general, la mayoría de depósitos de metales base asociados a intrusivos se localizan regionalmente en relación con arcos magmáticos. Pero existe otro tipo de cuerpos intrusivos que tienen más relación con el uranio y se presentan en zonas cratonizadas, relacionadas con períodos tectónicos distensivos dentro del contexto global.

#### 3.1 Características geoquímicas

El territorio peruano en el sentido transversal presenta hacia el Este, un incremento en la

edad de intrusivos, coincidente con un aumento tanto del espesor de la corteza continental, como de los elementos K, Rb, Th, Cs y Sr, esto ocurre en granitos intruídos desde 05 - 286 M.A.

En el Batolito de la Costa, de edad miocena, hay un marcado incremento en elementos Na, Ta, La<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub> asociados a los altos niveles de deformación a lo largo del borde Oeste, incluido el intrusivo de la Cordillera Blanca de un carácter más superficial. Ambos intrusivos fueron producidos de una nueva corteza basáltica y emplazados a partir de rocas de la cuenca interior (cuenca marginal albiana) cerca de la zona de subducción (Figura 2). Las diferencias en composición entre los dos batolitos reflejan cambios tanto en la composición del substrato continental, la mineralogía residual de la fuente como el emplazamiento tectónico en el lugar de la fusión parcial [3]. El uranio tiene relación con granitoides de composición alcalina, peraluminosa con alto contenido de potasio, formados por fusión parcial de rocas corticales, mineralógicamente identificables

por la presencia de biotita-moscovita y minerales accesorios, se les denomina granitos de anatexis, características atribuidas al magmatismo de la Cordillera Oriental.

En cuanto a rocas del tipo granodioritas, dioritas y monzonitas cuarcíferas, así como sus equivalentes alcalinas, pobres en Cu, están enriquecidas en W, Sn, F y se asocian

con pórfidos riolíticos alcalinos con más de 75 % de sílice. El fraccionamiento de magmas del tipo I o S y la presencia de un alto contenido de volátiles (F, B, P) pueden llevar a la formación de granitos y pegmatitas a topacio o a dos micas, con presencia de uranio y tierras raras [4].

**Tabla 1.** Análisis químicos, rocas intrusivas del magmatismo andino y Cordillera Oriental.

Muestra Ubicación	Elementos Mayores (%) y uranio							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	U(ppm)
Gr. Pativilca	63.60	16.85	4.58	3.99	1.37	3.77	2.86	2.8
Gr. Corongo	67.56	15.36	0.77	3.43	1.59	3.67	3.36	14.70
Gr. San Ramón	75.2	13.1	1.95	0.20	0.06	3.9	4.22	14.00
Sien. de Ollachea	53.01	21.03	1.50	1.73	0.74	9.73	5.55	7.30
Gr. Coasa	73.98	13.45	1.50	0.94	0.10	3.67	4.64	10.30
Gr. Limbani	69.70	14.80	1.50	1.44	0.73	2.90	5.09	4.80
Gr. Vilcabamba	73.22	7.99	--	0.40	0.31	5.06	5.27	17.16

**Tabla 2.** Análisis químicos del granito de San Ramón.

No. Mtra	Código	Fecha	Coordenadas UTM	Análisis			Descripción
				Rad	Tenor (ppm)		
				c/s	U	Th	
01	SR-1	12.01.08	N 8775280 E 464537	400	13.8	96.7	Granito de color rojo, grano grueso, textura granular, cavernoso, cuarzo, ortoclasa, presencia de minerales arcillosos, hematita, proceso de alteración, lajamiento.
02	SR-2	12.01.08	N 8775340 E 464663	350	6.90	41.1	Granito de color rojo, grano grueso equigranular, cuarzo, feld. Alterado, terromagn. alt. Presencia de pequeños diques aplíticos melacocráticos.
03	SR-3	12.01.08	N 8775296 E 464931	420	10.66	46.0	Dique aplítico masivo, color rosado textura afepítica, alt de feld. blanco, pocos ferromagnesianos.
04	SR-4	12.01.08	N 8775250 E 465570	400	15.5	58.8	Granito de color rosado, textura granular, feld, caolinizados, cuarzo feld, feromago en proceso de alteración, los ferromagnesiano subordinados en proceso de alteración, presencia de cavidades.
05	SR-5	12.01.08	N 8775614 E 466409	700	48	98.8	Monzo-granito de color rojo alteración abundante, producción de arcillas rojas, feld, alterados atravesado por aplitas.
06	SR-6	12.01.08	N 8772702 E 463869	320	11.3	37.3	Granito de color rojo deleznable y producción de arcillas de color rojo.
07	SR-7	12.01.08	N 8772872 E 463970	300	7.8	38.5	Monzo-granito de color rojo meteorizado alt. de feldespatos, producción de arcillas a partir de ferromagnesianos. Formación de cavidades de disolución.
08	SR-8	12.01.08	N 8773020 E 464117	1000	152.0	8.8	Dique, roca de color verdoso fracturado, fuerte alteración de ferromagnesianos, posible zona de contacto fallado.

09	SR-9	12.01.08	N 8773080 E 464753	800	3.5	13.6	Granito de color rosado, textura granular gruesa, abundante cuarzo, alteración de feldespatos. Presencia de diques melanocráticos.
10	SR-10	13.01.08	N 8827502 E 4445967	150			Roca alterada, silicificada, color gris verdoso, muy fracturada presenta lajamiento, contacto con intrusivo.

**Tabla 3.** Análisis químicos Granito de Corongo.

No. Mtra	Código	Fecha	Coordenadas UTM	Análisis			Descripción
				Rad c/s	Tenor (ppm)		
				U	Th		
01	COR-1	16.01.08	N 9040296 E 182496	250	29.0	6.20	Tonalita, color blanco grisáceo, textura granular, cuarzo oligoclasas, moscovita en pequeños cristales intersticiales, ferro-magnesianos, fract. uramiento.
02	COR-2	16.01.08	N 8775340 E 464663	350	6.90	41.1	Tonalita de color blanco, textura equigranular, cuarzo, hornblenda, abundantes ferro magnesianos, alteración con presencia de cavidades.
03	COR-3	12.01.08	N 8775296 E 464931	420	10.66	46.0	Tona-granod color blanco, textura equigranular, minerales ferromagnesianos, biotita alterada.
04	COR-4	12.01.08	N 8775250 E 465570	400	15.5	58.8	Tonalita color blanco, textura equigranular, abundantes ferro magnesianos, cuarzo asociado a biotita. Presencia de diques afaníticos de color blanco.
05	COR-5	12.01.08	N 8775614 E 466409	700	48	98.8	Tonalita color blanco leucocrática, en partes con textura afanítica enclaves de esquistos con alternancias y presencia de cloritas, presencia de lajamiento.
06	COR-6	12.01.08	N 8772702 E 463869	320	11.3	37.3	Tonalita color blanco, textura gnésica pegmatítica, ferromagnesianos en proceso de alteración. Presencia de moscovita en cristales idiomorfos.

### 3.2 Implicancias metalogénicas

Los análisis de uranio de muestras del Batolito de San Ramón (Granito de La Merced), de edad permo-triásica en algunas partes, con una radiactividad de hasta 1000 c/s, dan contenidos promedio de uranio de 14 ppm y un valor máximo de 152 ppm, es de esperar que estas condiciones se puedan repetir en otros intrusivos del mismo contexto que afloran en esta región y deben ser revisadas (Tabla 1).

Las muestras del Granito de Corongo, extraídas entre las localidades de La Pampa-Yanac-Tarica, y en puntos destacados, tienen una radiactividad de hasta de 420 c/s, los análisis por uranio indican un promedio de 14.7 ppm de uranio (Tabla 3).

Por el contenido de uranio de estas rocas graníticas se les asigna la condición de roca fértil; con un enriquecimiento geoquímico primario de uranio, hacen necesario en estos intrusivos mayores estudios que incluyan análisis químico total y mineralógico, que nos indicarán la condición de labilidad y el grado

de favorabilidad uranífera de una fuente de uranio, solo aleatoriamente contribuirán a ésta los minerales refractarios o estables presentes en Tierras Raras y Torio (Euxenita, Allanita, etc.)

En este análisis se considera importante la presencia de cizallamientos viscosos intramagmáticos que constituyen zonas de enriquecimiento de uranio, luego la movilización y posterior concentración en eventos hidrotermales en rocas huésped porosas, resultado de alteraciones intensivas intragraníticas; albitización, rubificación, al estilo de los granitos del Macizo Central Francés y del batolito de Achala en Argentina.

### 4. Conclusiones

a) Por los resultados geoquímicos preliminares de uranio contenido en rocas intrusivas con tres veces la radiactividad de fondo y consideraciones metalogénicas, indican que la favorabilidad geológico-uranífera se incrementa hacia el Este del

territorio, con relación a rocas alcalinas del magmatismo permo-triásico.

b) El Batolito de la Cordillera Blanca, emplazado en un nivel altitudinal mayor y de composición de leucogranito (monzogranito), con feldespato potásico, biotita-moscovita y contenido de uranio, mayor a su radiactividad de fondo (4 ppm), constituye igualmente, un intrusivo con favorabilidad uranífera.

c) El modelo conceptual de uranio propuesto, es una guía para las futuras exploraciones de uranio y una contribución al mejor conocimiento del potencial uranífero del Perú.

## 5. Referencias

- [1]. Gabelman J. Uranio en el Perú. Boletín de la Junta de Control de Energía Atómica. 1966; 11(56).
- [2]. Belluco A. Selección de áreas geológicas favorables y geología del uranio. En: CIEN-CNEA. Curso Latinoamericano de capacitación para la prospección y exploración de yacimientos uraníferos. Argentina, 1978.
- [3]. Kostov I. Crystallochemical differentiation and localization of uranium of deposits in the Earth's crust in IAEA Recognition and evaluation of uraniferous areas. In: International Atomic Energy Agency. Proceedings of a Technical Committee IAEA. Vienna. Meeting, 17-21 November 1975. p. 15-33.
- [4]. Cobbing E J. The Coastal Batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. Geological Society. London, special publications, 1999, v. 168, p. 111-122.