



DIRECCIÓN DE RECURSOS MINERALES Y ENERGÉTICOS

PROGRAMA DE METALOGENIA

PROYECTO GE-25

**“METALOGENIA DEL URANIO EN LAS
REGIONES DE CUSCO Y PUNO”**



Ocurrencias de uranio (campo volcánico de Macusani – Puno)

RESUMEN

INFORME TÉCNICO CIENTÍFICO

**GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA, ISOTÓPICA Y
PETROMINERALÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE URANIO DEL SURESTE DEL
PERU Y SU COMPARACIÓN CON LOS MODELOS ACTUALES**

Preparado por:

Raymond RIVERA & Neper CONDORI

Lima – Perú

Diciembre, 2009

Introducción.-

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) en convenio con Korea Resource Corporation (KORES) y el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) llevaron a cabo un estudio de evaluación del potencial de uranio en el sureste del Perú titulado “Metalogenia del uranio en las regiones de Cusco y Puno”.

Dicha investigación tiene como objetivo principal determinar el modelo genético de las principales ocurrencias de uranio en la región de Puno y Cusco y proponer nuevas áreas de exploración con el fin de promover la inversión minera.

Un pre-requisito para entender el término de energía nuclear es conocer el potencial geológico de los depósitos minerales de uranio que se encuentran en nuestro territorio peruano. De esta manera, un objetivo principal de esta investigación científica es determinar cuáles son los modelos genéticos de los yacimientos de uranio en la región de Cusco y Puno, de tal manera que sus características sean bien comprendidas por los geólogos de exploración y lectores interesados. Entre las principales ventajas de tener un modelo genético de un yacimiento tenemos: a) permite diferenciar áreas prospectivas de estériles (definiendo blancos de exploración), b) permite caracterizar las mineralizaciones (tipo de yacimiento) y c) define y optimiza estrategias de exploración (menor inversión - costo, mejor resultados - beneficio).

1., Ubicación de la Zona de estudio.-

Políticamente la zona de estudio se encuentra localizada al sureste del Perú, específicamente entre las regiones de Cusco y Puno.

Geomorfológicamente la zona de estudio ocupa gran parte de la actual Cordillera Oriental y el altiplano de los andes del sur del Perú, con altitudes que sobrepasan los 4200 msnm.

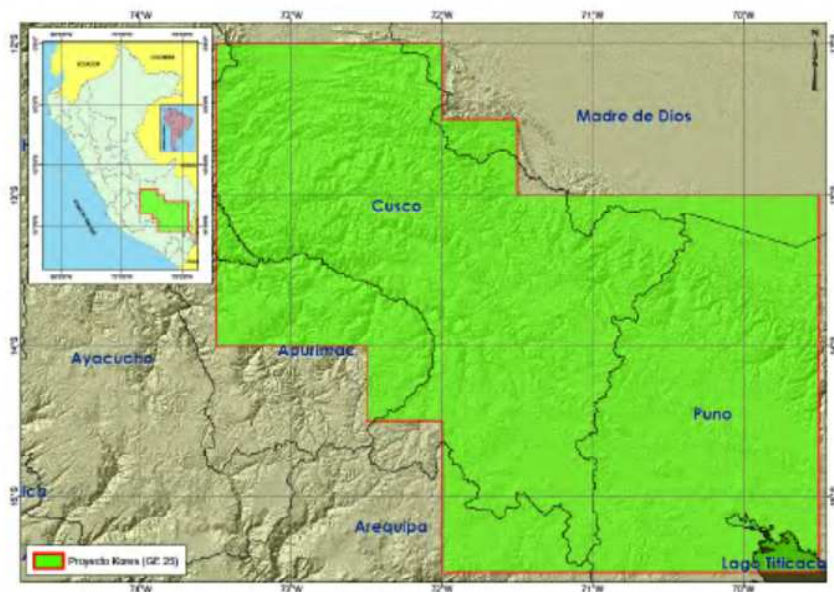


Fig. 1 Mapa de ubicación de la zona de estudio.

2.- Marco Geológico Regional

El marco geológico regional de la zona de estudio muestra una compleja historia sedimentaria relacionada a una cuenca del Paleozoico temprano (Ramos, 1988) que fue coetánea con intermitentes fases orogénicas y adelgazamientos litosféricos (Sempere et al., 2004). El producto de esta tectónica pre-andina fue una estructura tipo *rift* (Pérmico sup. – Triásico) donde se emplazó un plutonismo de considerables dimensiones (Batolito de la Cordillera de Carabaya).

Hacia el oeste de la Cordillera de Carabaya, durante el Cretáceo, se tuvo una sedimentación marina (Cuenca Putina) y finalmente durante el Oligoceno superior –Mioceno - Plioceno ocurrió un volcanismo explosivo piroclástico que originó los campos volcánicos de Cayconi, Picotani y Macusani, respectivamente. Es importante resaltar que en algunos de estos campos volcánicos actualmente se encuentran las principales ocurrencias de uranio. Por otro lado, se dará una especial atención a la evolución del sistema *rift* pre-orogénico (Pérmico sup. – Triásico), ya que más adelante se propone la hipótesis de encontrar áreas con potencial de uranio en rocas de esta edad.

3.- Geología Económica

La exploración de uranio en el Perú nunca ha sido de forma continua y tampoco ha tenido un plan estratégico a largo plazo, razón por la cual se carece de mucha información de recursos y reservas. La mayoría de los trabajos realizados son a escala local y de propiedad de las empresas privadas (carácter confidencial).

Este capítulo se desarrolla con el concepto claro que un buen trabajo de exploración necesita una buena base geocientífica que nos permita discriminar y elegir la mejor estrategia, tratando de alcanzar el mayor beneficio con el menor costo.

Por tal motivo, este capítulo utiliza información geocientífica con información técnica de exploración para evaluar el depósito desde diferentes perspectivas con el objetivo que el geólogo de exploración tenga una herramienta básica para la toma de decisiones.

Entre las principales áreas visitadas tenemos:

Ambiente Volcánico Peraluminoso.-

- Macusani

Cuadro 1.- Coordenadas centrales de cada una de las seis áreas visitadas en el complejo volcánico de Macusani

Zona	Coordenada Norte (UTM)	Coordenada Sur (UTM)
1	8447430	336249
2	8454994	330673
3	8461102	322236
4	8440298	336130
5	8443484	326735
6	8437030	312438

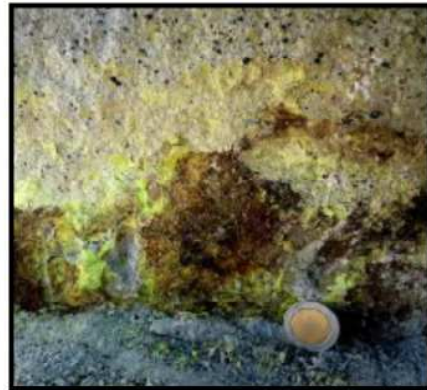


Foto 1 y 2.- mineralización deAutunita (mineral secundario de uranio)



Foto 3 y 4.- Fracturas con mineralización de autunita en Macusani

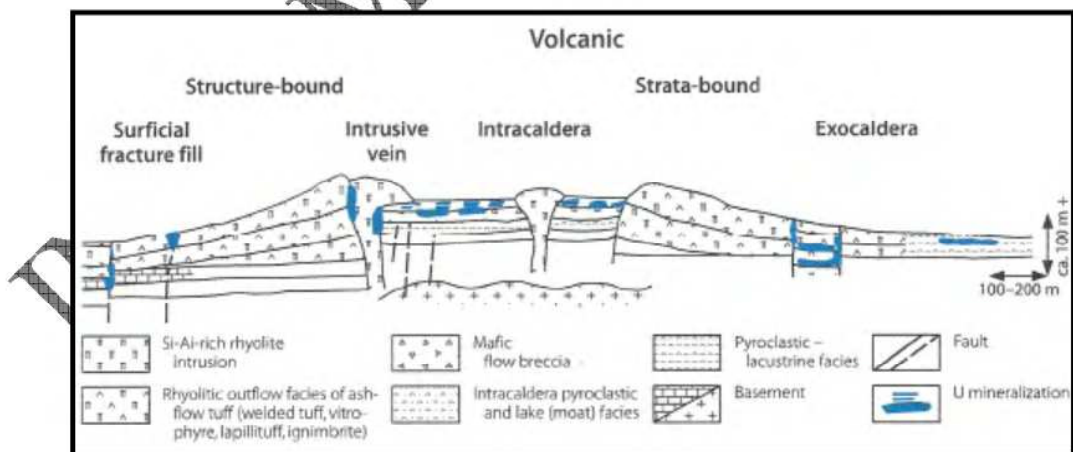


Fig.- 2.- Modelo esquemático para el depósito uranífero de Macusani.(Dalhcamp, 1993)

- Crucero

Cuadro 2.- Coordenadas centrales de las cuatro Áreas visitadas en el campo volcánico de Crucero

Zona	Coordenada Norte (UTM)	Coordenada este (UTM)
1	398237	8406842
2	396155	8404223
3	417712	8401336
4	424226	8394217

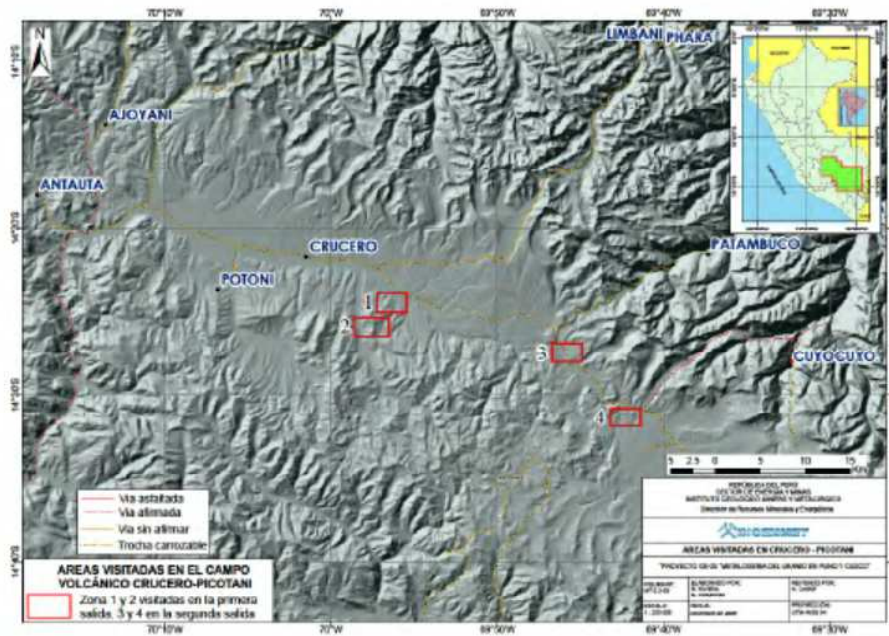


Fig.2.- Mapa de ubicación de las zona visitadas en el campo volcánico de Crucero entre la primera y segunda.



Foto 5 y 6.-Mineralización de autunita en Crucero

- Ocuvi



Foto 7.- Foto Panorámica del domo Ocuvi

Ambiente Intrusivo Peraluminoso.-

- Vilcabamba

Actualmente el tipo de depósito al que pertenece el distrito minero de Vilcabamba (Cu -Co-Ni y U) es poco conocido. Muchos estudios se han realizado, pero pocos han profundizado en la génesis de las ocurrencias. Sin embargo, basados en la información recopilada y junto con los nuevos conceptos en la exploración del uranio, trataremos de clasificar este tipo de depósito.

Es claro que la mineralización en el distrito de Vilcabamba está relacionada a la presencia de estructuras (vetas) que cortan las calizas del Grupo Copacabana y que podrían haber transportado o recibido los fluidos hidrotermales desde la cámara magmática. Vilcabamba yace por lo menos entre tres cuerpos batolíticos o grandes stocks los cuales tienen poco afloramiento y cuyos márgenes comúnmente están fallados (Gabelman, 1962).

Anteriormente estas ocurrencias fueron clasificadas como depósitos pirometasomáticos, los cuales fueron el resultado de una moderada a alta temperatura relacionadas más a estructuras que a las intrusiones de cuerpos ígneos (Gabelman, 1962).

Jemielita (2005) basado en las relaciones estratigráficas, clasifica a estos depósitos como *unconformity*, debido al contacto discordante entre las calizas del Grupo Copacabana y el sobreyacente Grupo Mitu.

Estos tipos de depósito están asociados con una disconformidad y la mineralización se encuentra inmediatamente arriba y debajo de la misma, que separa un basamento cristalino intensamente alterado por meteorización laterítica y sobre ellos tenemos capas rojas clásticas sedimentarias del Faneozoico

Estos depósitos son de dos tipos:

- a) Confinados a Fracturas (Fracture bound).-
Ocurren en metasedimentos inmediatamente debajo de la disconformidad, la mineralización es comúnmente monometálica y la ley está entre (0.3 a 1% U_3O_8).

b) Confinados a Arcillas (Clay bound).-

Ocurren asociados con arcillas en la base de la cobertura sedimentaria directamente arriba de la disconformidad. La mineralización es comúnmente polimetálica (U + Ni + Co + As) y está asociada con bitúmenes de alta ley.

El principal mineral en ambos casos es la uraninita y la pechblenda, hasta ahora no se conoce exactamente su origen pero se relaciona principalmente a procesos diagenéticos – hidrotermales (Dahlkamp, 1993)

Entonces es claro por las características geológicas que las ocurrencias de uranio en el distrito minero de Vilcabamba podrían estar relacionadas al modelo “*fracture bound*”, pero existen algunas incongruencias de campo y conceptuales que deberíamos tomar en cuenta como por ejemplo:

En los sectores visitados de Vilcabamba la mineralización se encuentra relacionada a vetas que afloran en el tope de las calizas del Grupo Copacabana (basamento), no se observa ninguna otra unidad suprayaciendo a las calizas, por consiguiente no existiría una disconformidad. No obstante, es probable que el Gpo. Mitu haya sido erosionado en este lugar.

Según los modelos mundiales la mineralización para este tipo de depósitos es monomineral, mientras que para Vilcabamba es polimetálica.

El modelo indica que la mineralización se proyecta en profundidad, sin embargo, hasta el momento no se ha comprobado en Vilcabamba, ya que según las perforaciones realizadas sucede lo contrario.

Existen algunos otros tipos de modelos que deberían ser revisados y que se podrían ajustar a las características geológicas de las ocurrencias de uranio en Vilcabamba, como por ejemplo:

Vetas epigraníticas relacionados a intrusivos.-

Este modelo consiste de mineralización de uranio en lentes, capas y diseminaciones en fracturas, fallas, brechas y stockworks en rocas deformadas y fracturadas. Están asociadas con rocas intrusivas peraluminosás altamente diferenciadas. Las vetas están emplazadas mayormente en los metasedimentos que están en contacto con el borde del cuerpo intrusivo, la mineralización es polimetálica (U-Co-Ni-Bi-Ag). Estas vetas pueden extenderse a más de 200 metros de profundidad (Dahlkamp, 1993).

Todas estas características tienen una estrecha relación con las evidencias geológicas registradas en Vilcabamba. Por este motivo, queda pendiente establecer un nuevo modelo de depósito, el cual será motivo de evaluación por los demás geólogos exploradores quienes pueden cambiar su filosofía en la exploración.

Cuadro 3.- Características del modelo de vetas relacionadas a intrusivos

Características del modelo	Características de Vilcabamba
Presencia de complejos ígneos altamente diferenciados per-aluminosos.	Intrusivos Permo – triásicos
Contenido de uranio en granitos > 5 ppm	Granitos enriquecidos en uranio Background > a 5 ppm
Uranio presente en fases lixiviables (uraninita)	Presencia de uraninita en las vetas
Tamaños de plutón: por lo menos 100 km ²	Batolito de Vilcabamba
Ganga abundante e incluye carbonatos (dolomita)	Abundante ganga calcáreas en Las vetas
Mineralización errática distribuida en clavos o lentes	Mayores concentraciones de uranio relacionadas a estructuras tipo lentes

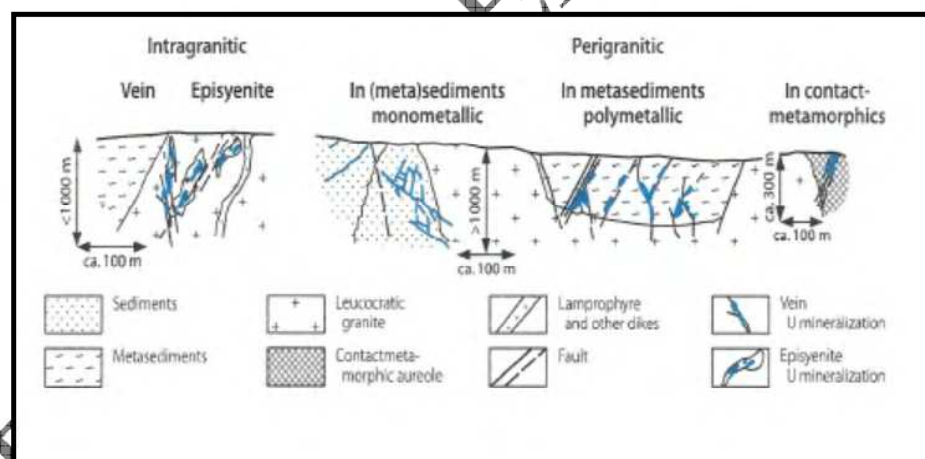


Fig.3.- Modelo esquemático para el depósito de Vilcabamba (Dalhamp, 1993)

3.1.- Estudios Isotópicos

Son relativamente pocas las investigaciones geocientíficas que se han hecho en los últimos años aplicando isótopos estables o radiogénicos en nuestra zona de estudio. Estas investigaciones han sido hechas desde un punto de vista geológico y puntual. Con estos antecedentes, en este capítulo se ha recopilado toda la información isotópica relacionada a la zona de estudio para tratar de explicar el origen de los depósitos minerales de uranio. Además se hacen algunas comparaciones con otros depósitos del mundo para mostrar un panorama global del marco geológico mundial de estos depósitos.

Muchos de estos estudios isotópicos han sido realizados sobre minerales específicos como por ejemplo: plagioclasa, biotita y obsidiana (macusanita). También se han realizado análisis de roca

total (matriz de la roca volcánica) en diferentes años, por diferentes autores y diferentes métodos analíticos, por tal motivo existe cierto sesgo en los resultados. No obstante, lo más importante es observar la tendencia que siguen estos resultados isotópicos, lo cual nos llevará aclarar mejor nuestras ideas. (Ver cuadro 3.6).

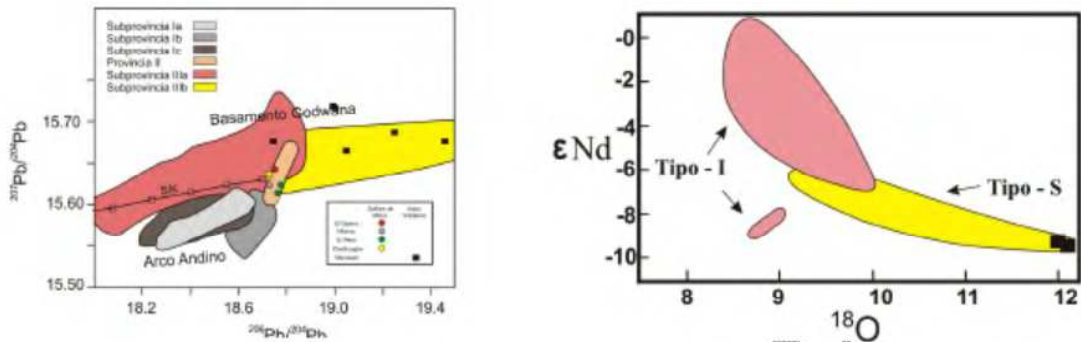


Fig. 4 y 5 Isótopos de Plomo y Oxígeno explicando el origen de las rocas volcánicas de Macusani

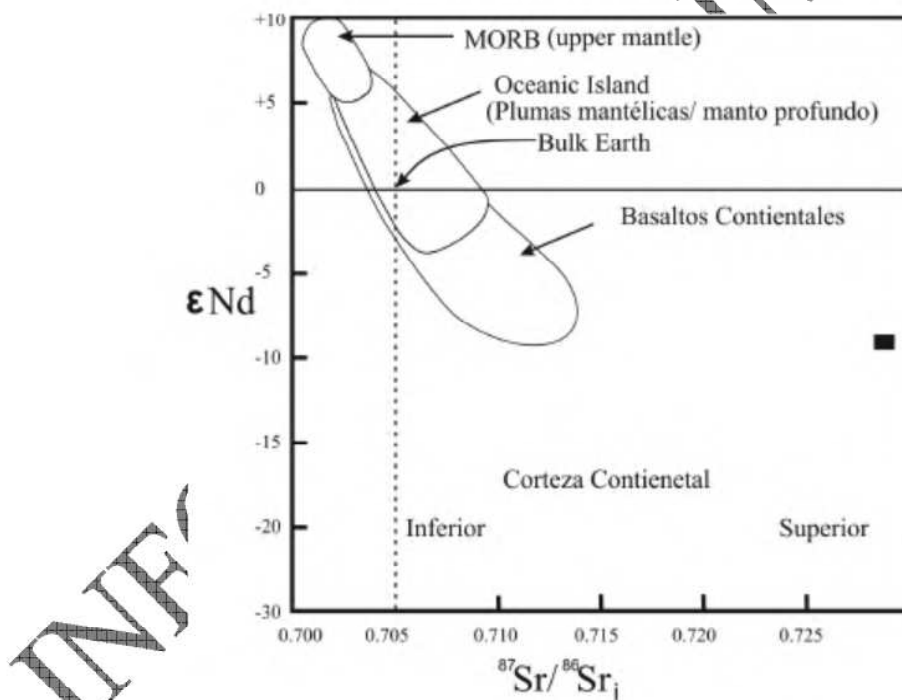



Fig. 6.- Isótopos de Estroncio explicando el origen cortical de las rocas volcánicas de Macusani


3.2.- Estudios Petromineralógicos

DESCRIPCION PETROMINERALOGICA DE LA ZONA DE "MACUSANI"

FOTOS MICROSCOPICAS



FOTOS MACROSCOPICAS



Toba granítica de color blanco grisáceo con Qtz halo. Qtz ahumada, obsidiana y matita de ceniza blanca autunita. Fragmento diseminado (vaca diseminado).

Se puede observar que la autunita presenta fluorescencia moderada en la parte izquierda de la foto, presenta diseminación moderada a fuerte, nótese que la fluorescencia aumenta con la variación de los puntos negros.

DENOMINACION:
Toba de cristales y flujo de cenizas consolidado

PROCEDENCIA:
COORDENADAS: X: 336242
Y: 8447277

TEXTURA MACROSCOPICA:
Granular

TEXTURA MICROSCOPICA:
Desvitrificación oxifílica

OBSERVACIONES MICROSCOPICAS

El principal tefalo petrográfico es la microcrista con inclusiones de barita y clorita. La barita presenta halo plioclorita.

Qtz: Cuarzo
Pl: Plagioclasa
Bt: Biotita
Op: Opato
Aut: Autunita

FOTO EN MICROSCOPIO PARALELO

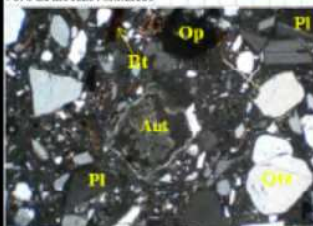


FOTO DE LA MUESTRA DE MANO




FOTO EN MICROSCOPIO CRUZADO

MUESTRA	MINERAL	FORMA			TIPO DE DISTRIBUCION					CARACTERISTICA							
		PRISMATICA	AGULAS	ESTRATIFICADA	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR				
Obsidiana	3000																
Cuarzo	3000																
Feldspato (Albita)	3000																
Plagioclasa	3000																
Biocita	3000																
Andalucita	3000																
Biotita	3000																
Uraninita	100																

FOTO CON LUZ ULTRAVIOLETA

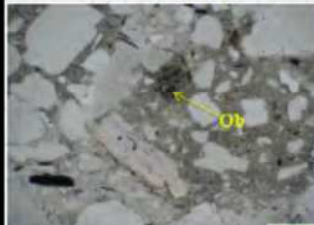
MINERALES DE URANIO	MINERAL	FORMA			TIPO DE DISTRIBUCION					CARACTERISTICA							
		PRISMATICA	AGULAS	ESTRATIFICADA	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR				
Autunita	100																
Torbernita	100																
Garrofito	100																

La tomografía tiene hasta 30% de matriz vítrea. Los minerales de uranio se presentan diseminados y en matita. La autunita está desvitrificada en forma de halo.

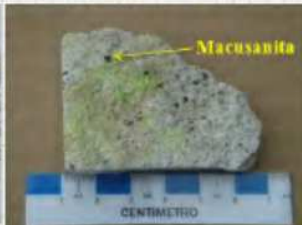
LAMINA N° 6

DESCRIPCION PETROMINERALOGICA DE LA ZONA DE "MACUSANI"

FOTOS MICROSCOPICAS



FOTOS MACROSCOPICAS



Toba de cristales con flujo de cenizas consolidados en la foto se observa la fractura rellena de autunita leosa con obsidiana y arcillas. (menor)

En la muestra de mano se observa una fluorescencia intensa en el margen inferior derecho característico de la autunita, posiblemente puede contener torbernita en los lugares donde la fluorescencia es nula.

DENOMINACION:
Toba de cristales y flujo de cenizas consolidado

PROCEDENCIA:
COORDENADAS: X: 336242
Y: 8447277

TEXTURA MACROSCOPICA:
Granular porfírica

TEXTURA MICROSCOPICA:
Desvitrificación oxifílica

OBSERVACIONES MICROSCOPICAS

La biotita tiene inclusiones de clorita. Se encuentra diseminado en la matriz presentando halo plioclorita.

Qtz: Cuarzo
Pl: Plagioclasa
Sa: Sanidina
Bt: Biotita
Ms: Muscovita
Ob: Obsidiana
Aut: Autunita
Tor: Torbernita

FOTO EN MICROSCOPIO PARALELO

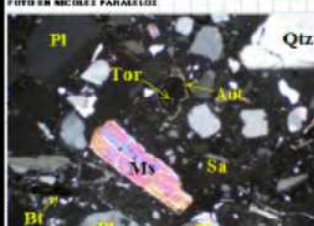


FOTO DE LA MUESTRA DE MANO




FOTO EN MICROSCOPIO CRUZADO

MUESTRA	MINERAL	FORMA			TIPO DE DISTRIBUCION					CARACTERISTICA							
		PRISMATICA	AGULAS	ESTRATIFICADA	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR				
Obsidiana	3000																
Cuarzo	3000																
Feldspato (Albita)	3000																
Plagioclasa	3000																
Biocita	3000																
Uraninita	100																
Autunita	100																
Torbernita	100																

FOTO CON LUZ ULTRAVIOLETA

MINERALES DE URANIO	MINERAL	FORMA			TIPO DE DISTRIBUCION					CARACTERISTICA							
		PRISMATICA	AGULAS	ESTRATIFICADA	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR	ESFERICA	ELONGADA	IRREGULAR				
Autunita	100																
Torbernita	100																
Garrofito	100																

Posiblemente la metamorfosis plioclorita se vea en la parte inferior de la obsidiana y en las cenizas con halo de autunita desvitrificada. La torbernita por su baja densidad, en sección delgado no se observa sus propiedades ópticas.

LAMINA N° 7

Fig. 7 y 8.- estudios petromineralógicos de las rocas frescas y mineralizadas del campo volcánico de macusani

3.3.- Prospección Geoquímica de Sedimentos de Quebradas

La prospección geoquímica por sedimentos de quebradas (*stream sediment*) es uno de los métodos más usados en el Perú. Este método se basa en el concepto de la dispersión secundaria de los elementos, los cuales en ambientes favorables (oxidante – reductor) pueden ser transportados varios kilómetros desde su origen, para luego en condiciones favorables ser depositado en los sedimentos de los ríos o quebradas. Si existe una concentración anómala aguas arriba de la cuenca estudiada esta puede ser detectada aguas abajo en los sedimentos depositados mediante un análisis geoquímico que por lo general son multielementales (ICP-MS).

- **Lantano (La)**

Geológicamente sus valores más altos se correlacionan con el dominio de la Cordillera Oriental en donde aflora el segmento de la Cordillera de Carabaya. Los valores más altos muestran una clara tendencia NO en la Región Puno, pero aproximadamente a los 13° en la región Cusco cambian a una orientación E-O, coincidiendo con la deflexión de Abancay (Fig. 9). Los valores más altos se encuentran claramente ubicados dentro del arco interno (Clark et al., 1990; Fig. 9) Esto se puede explicar debido a la presencia de un magmatismo peraluminoso dentro de este dominio cuya característica principal es el enriquecimiento en LREE, entre ellas el La. Hacia el norte en la zona de Cusco se observa que estos altos valores coinciden espacialmente con los intrusivos Permo – Triásicos infiriendo el carácter peraluminoso de toda esta zona.

Hay que destacar que desde el punto de vista geoquímico este magmatismo peraluminoso representa una buena fuente para generar diferentes tipos de depósitos de uranio. Hacia la parte sur se observan también fuertes anomalías de La coincidiendo con el magmatismo Peraluminoso de Ocuvi, donde también se reportan anomalías de uranio.

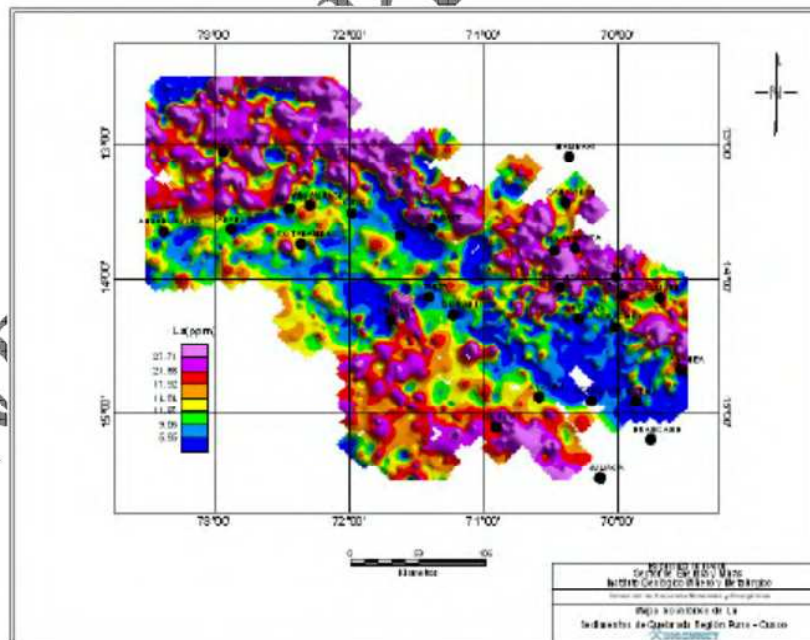


Fig. 9.- Mapa isovalórico del Lantano para el SE del Perú.

3.4.- Geocronología Magmática

Los ash flor tuff de la Fm. Quenamari constituyen el segmento piroclástico más joven del segmento de la Cordillera de Carabaya en el arco interno conformando un dominio magmático arealmente restringido a una posible estructura volcánica tipo caldera.

Estas rocas piroclásticas se encuentran hospedadas en una pequeña cuenca intramontañosa localizada 50 km al norte del lago Titicaca.

Cuadro 4.- Dataciones geocronológicas U- Pb para el batolito de Carabaya

Muestra	Plutón	Mineral datado	método	Edad	Erros	Fuente
Coca362	Limbani	Zircón	U - Pb	227.4	5.4	Miskovic., et al (2009)
Coca362	Limbani	Zircón	U - Pb	468	23	Miskovic., et al (2009)
Coca268	Coasa	Zircón	U - Pb	227	5.6	Miskovic., et al (2009)
Coca262	Coasa	Zircón	U - Pb	207	3.4	Miskovic., et al (2009)
Coca269	Coasa	Zircón	U - Pb	208.4	4.9	Miskovic., et al (2009)
Coca358	Aricoma	Zircón	U - Pb	227.4	4.2	Miskovic., et al (2009)
Coca298	San Gabán	Zircón	U - Pb	216.1	3.1	Miskovic., et al (2009)
Sam22a	San Gabán	Zircón	U - Pb	191.2	3.5	Miskovic., et al (2009)
Coca302	Ayapata	Zircón	U - Pb	190.3	2.5	Miskovic., et al (2009)
Sam 08	Urubamba	Zircón	U - Pb	284.8	4.6	Miskovic., et al (2009)
Sam 09	Urubamba	Zircón	U - Pb	291.5	5.8	Miskovic., et al (2009)
Sam 12a	Machu Pichu	Zircón	U - Pb	324.1	5.3	Miskovic., et al (2009)

**Magmatismo en el Arco Interno
(SE del Perú)**

Edad	Volcanismo	Plutonismo
Mio - Plioceno	Fm. Quenamari Fm. Picotani	
Oligoceno sup.- Mioceno inf.	Fm. Cayconi	Granito del Cerro Moromoroni Granito de San Rafael Granito de Minastira
Jurásico		Sienita de Macusani
Permo - Triásico	Grupo Mitu	Granito de Vilcabamba Granito de Ayapata Granito de Aricoma Granito de Limbani Granito de Coasa
Devónico tardío		Granito de Marcapata Granito de Amparues Granito de Limacpampa Granito de San Gabán

Fig. 10.- Geocronología magmatica del arco interno en el SE del Perú

**Magmatismo en el Arco Principal
(SE del Perú)**

Edad	Volcanismo	Plutonismo
Plio - Pleistoceno	Grupo Sillapaca	
Mioceno superior	Fm. Palca Fm. Maure	
Oligoceno sup. - Mioceno inf.	Ignimbritas Ocuvi Neck Millaocase Neck Chignaya Neck Huayta D. Veluyo D. Cascada Coladas Oscuro Diques	Macizo de Cupí Stock de Livichaco Macizo de Colque Macizo de Pucara Stock de Pichacani

Fig. 11.- Geocronología magmatica del arco principal en el SE del Perú

3.1.6.- Caracterización Geoquímica de Rocas

Las rocas magmáticas del SE del Perú (Cusco y Puno) presentan una distinta evolución geocronológica y geoquímica. En particular estas diferencias geoquímicas se desarrollan mucho mejor en los dominios del arco interno y el arco principal (Clark et al., 1990). La evolución del magmatismo se manifiesta siguiendo una clara orientación NO (región Puno) para luego cambiar a un rumbo EO (deflexión de Abancay – región de Cusco).

Carlier et al., 1982, asocia la evolución del magmatismo en el sureste del Perú con tres principales ciclos orogénicos: Precambriano tardío, Herciniano y el Andino.

Entonces nosotros para una mejor entendimiento de la evolución magmática hemos visto conveniente separar el magmatismo dentro de estos dos grandes dominios petrológicos (Arco Principal y el arco interno) y a su vez subdividir el magmatismo de acuerdo a su edad geológica y a su forma de emplazamiento (volcánico y plutónico) (Fig. 10 y 11)

La necesidad del país de tener información geoquímica para orientar la exploración de los depósitos minerales de acuerdo a los dominios magmáticos, han llamado la atención a la realidad sobre la poca utilización que se le da a este tipo de información (datos geoquímicas). El propósito de estas subdivisiones es resaltar las características geoquímicas de ambos dominios petrológicos, determinar su fuente y el establecer su relación que guarda con los depósitos minerales.

Para este tipo de interpretación geoquímica se ha recopilado información de elementos mayores, elementos traza y tierras raras, además de la información propia recolectada en campo durante esta investigación. Entre los principales trabajos recopilados es muy importante resaltar sin darle importancia al orden: Francis (1956); Barnes et al., 1970; Nobel et al., 1984; Kontak et al., 1986; Laubacher et al., 1988; Pichavant et al., 1988b; Mamani et al., 2004. Finalmente estas interpretaciones hechas mediante la geoquímica de rocas se ve fortalecida por las interpretaciones de isótopos radiogénicos y estables, motivo por el cual es muy importante para un mejor entendimiento correlacionar estos dos tipos de información.

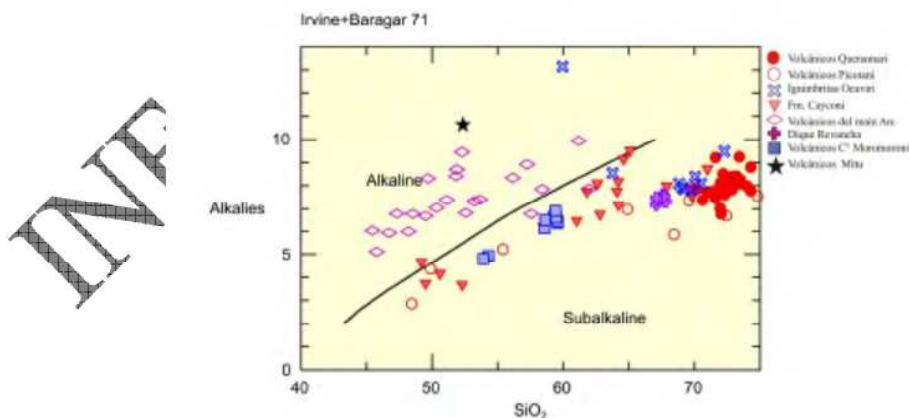


Fig. 12.- Diagrama de Alcalinidad vs Subalcalinidad

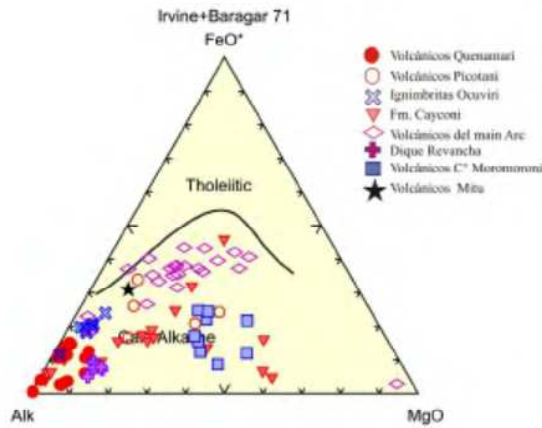


Fig. 13.- Diagrama de Subalcalinidad

VAR

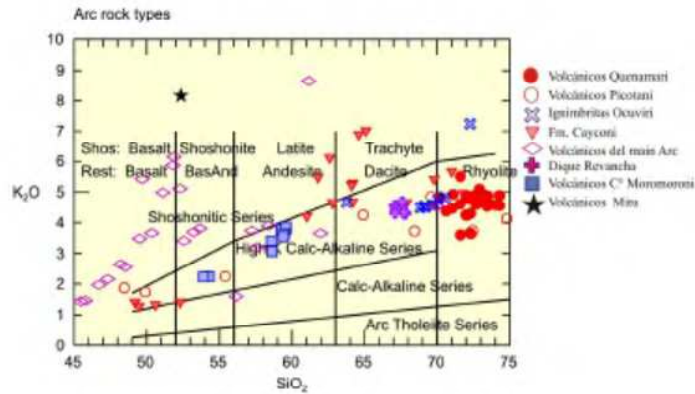


Fig. 14.- Diagrama de Subalcalinidad (Pecherillo & Taylor, 1976)

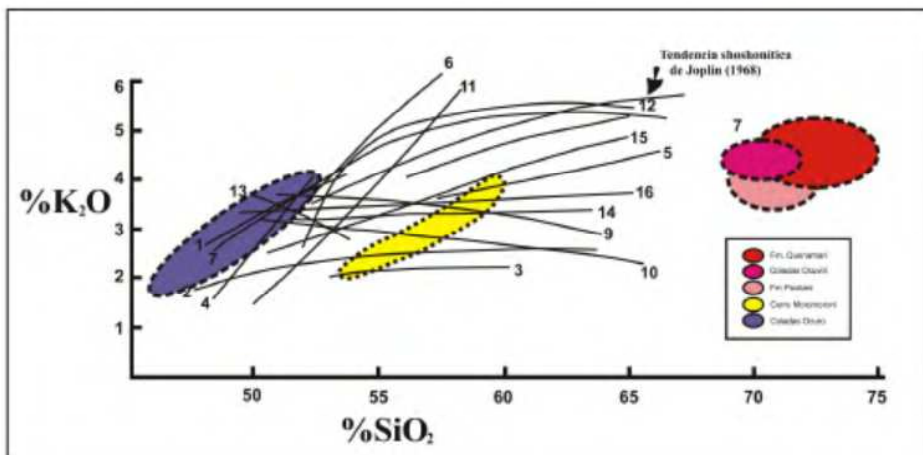


Fig. 15.- K_2O vs SiO_2 , mostrando las tendencia shoshoníticas en el mundo y comparándolas con las rocas peraluminosas de Macusani, Picotani y Ocuvi. (modificado de Kontak, 1985)

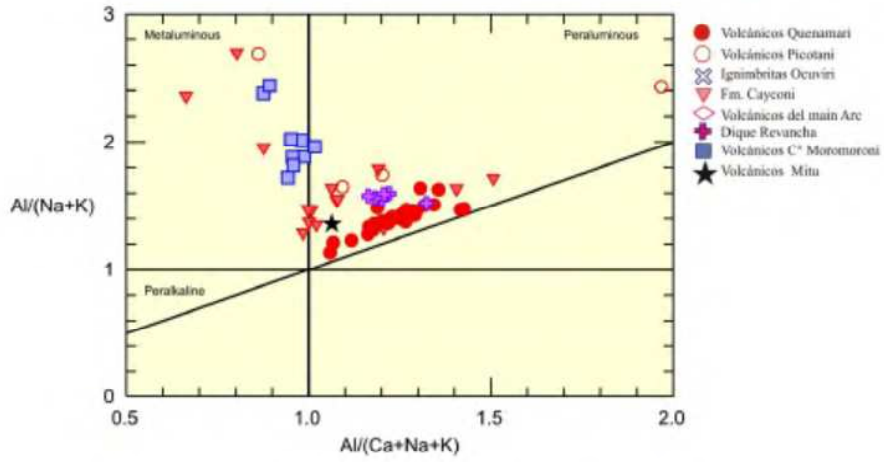


Fig. 16.- Diagrama de Saturación de Alumina (Manjar & Piccoli, 1989),

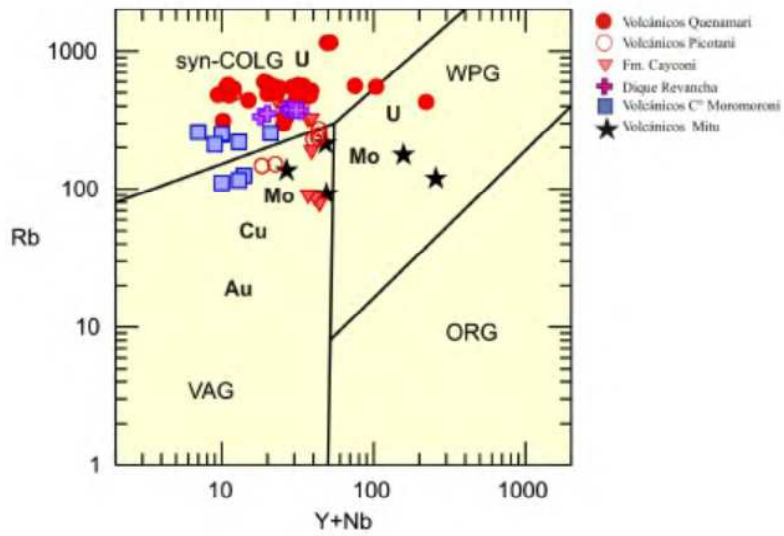


Fig. 17.- Gráfico de Discriminación de granitos (Pearce, 1996)

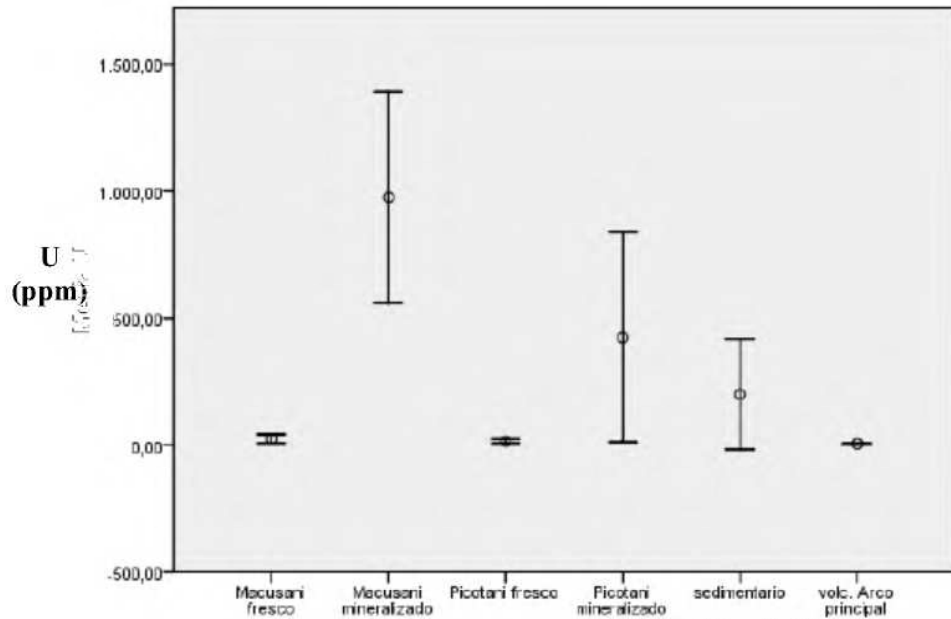


Fig. 18.- Box plot del uranio vs ambiente geológico indicando el potencial de cada área

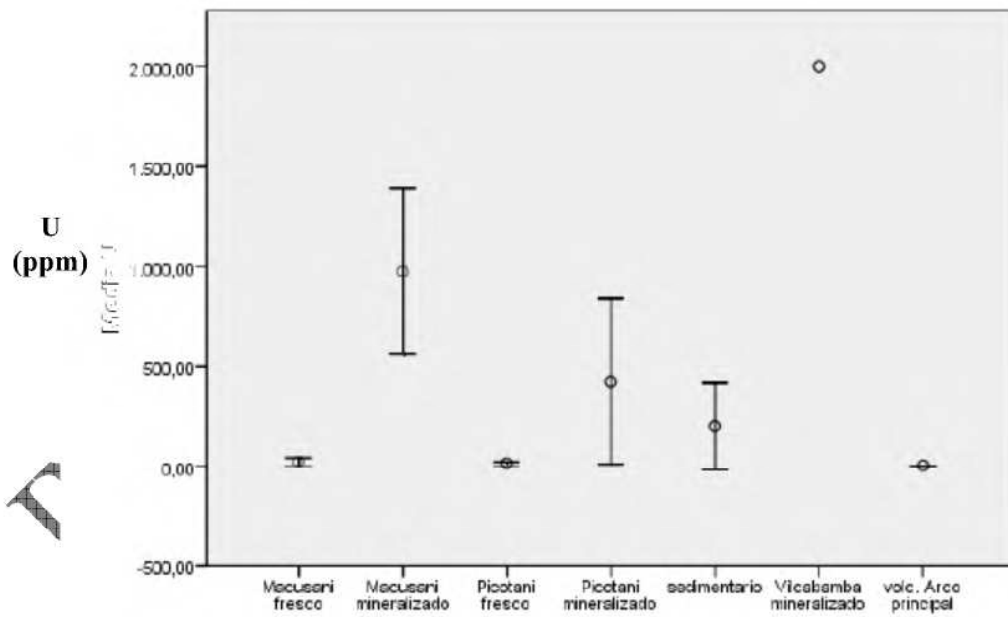


Fig. 19.- Box plot del uranio vs ambiente geológico indicando el potencial de cada área

4.- Franjas Metalogénicas de uranio en el SE del Perú

Los tres principales ambientes geológicos que nos permiten diferenciar respectivamente tres subfranjas metalogénicas son:

- 1.- Depósitos de uranio en rocas volcánicas peraluminosas Mio-Pliocénicas.
2. Depósitos y ocurrencias de uranio en rocas intrusivas peraluminosas Permo – Triásicas.
3. Ocurrencias de uranio en rocas sedimentarias Cretácicas.

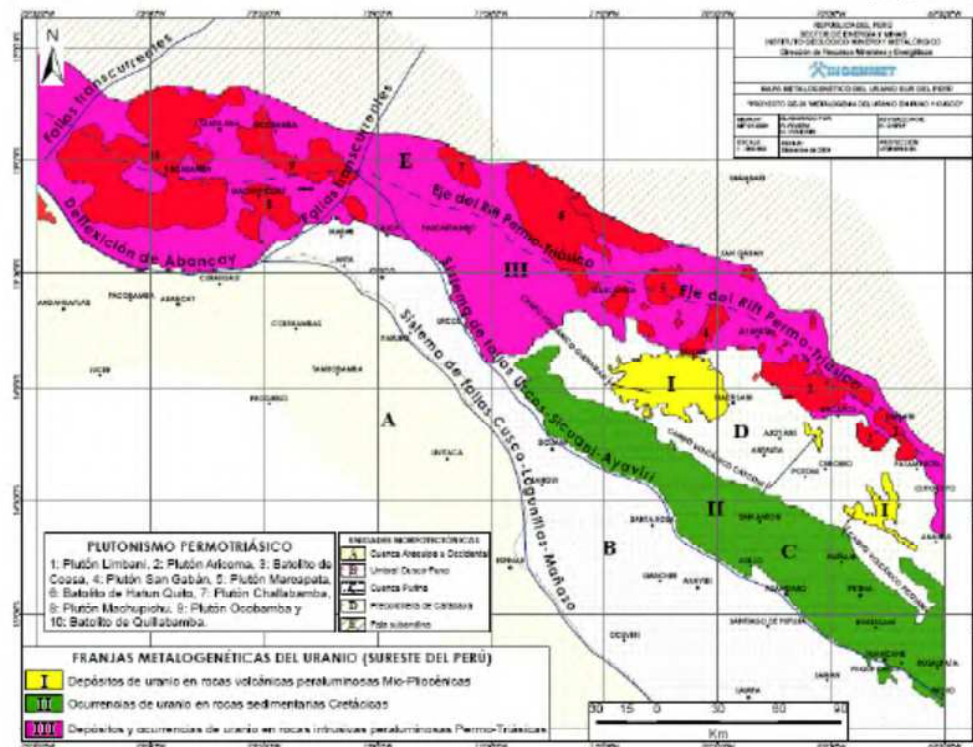


Fig. 20.- Mapa Metalogénico del área de estudio

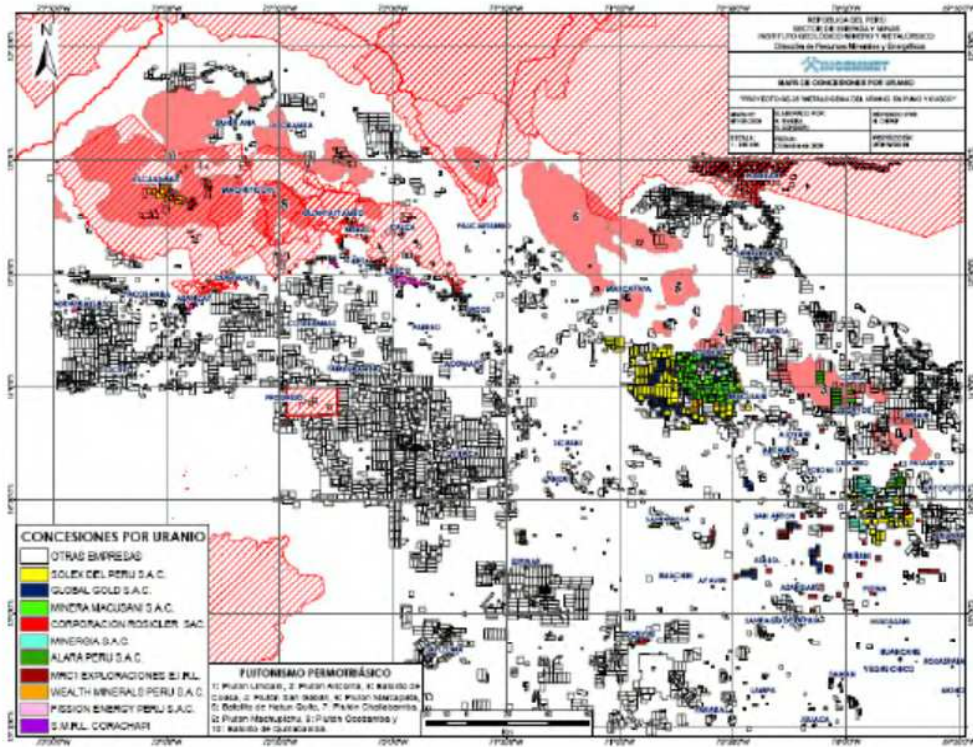


Fig. 21 .- Mapa de conceciones de uranio en el área de estudio

INFORME PRO

Conclusiones y Recomendaciones

Desde el punto de vista geológico es muy claro que los principales depósitos de uranio en el SE del Perú están relacionados directamente al dominio del arco interno (Clark et al., 1990). Donde además de las ocurrencias de uranio tenemos ocurrencias de Mo, W, Sn que son elementos que siempre están relacionados a las fases más diferenciadas del magmatismo; por consiguiente el uranio que es considerado como un elemento litófilo (LILE).

Las ocurrencias de uranio se han podido comprobar tanto en la región de Puno como en la región de Cusco. El tipo de mineralización en estas regiones es diferentes, mientras que en Cusco tenemos depósitos de alta ley y bajo tonelaje en las calizas del Grupo Copacabana, en Puno tenemos depósitos de baja a moderada ley con alto tonelaje en rocas volcánicas (tufo de flujos de ceniza) de los campos volcánicos de Macusani y Crucero.

La edad de estos depósitos de uranio en Cusco y Puno son distintas. En Cusco se postula una edad Permo- Triásico, mientras que en Puno tienen una edad Mio-Pliocénica. Esto se interpreta como dos pulsos magmáticos totalmente distintos.

Es evidente que las principales ocurrencias de uranio en el SE del Perú están relacionadas a los eventos magmáticos desarrollados durante el Pérmico – Triásico y el Mio- Plioceno. Entonces para una mejor comprensión de la metalogenia del uranio nosotros las hemos clasificado de acuerdo a las características geoquímicas, geocronológica, la forma de emplazamiento de las rocas ígneas y la distribución de la mineralización.

De esta manera las ocurrencias de uranio en los campos volcánicos de Macusani y Crucero han sido clasificados como: “depósitos de uranio en rocas volcánicas piroclásticas peraluminosas Mio – Pliocénicas” y tomando como referencia la forma en que se presenta la mineralización estos se pueden subdividir en “*structure bound*” y “*strata bound*”. Las características isotópicas y geoquímicas indican que en estos campos volcánicos el magmatismo es de origen anatéxico con una alta concentración de Al_2O_3 , K_2O y SiO_2 .

La mineralización en este tipo depósitos es muy errática y los lentes ricos en uranio no son continuos y de forma definida, por lo general se encuentran restringidos al miembro superior de la Formación Queñamati. Este tipo de depósitos es de baja a muy baja ley (Dahlkamp, 1993). Actualmente Macusani y Crucero se encuentra en evaluación geológica y su potencial en uranio puede depender de la profundidad de las venillas, la continuidad de los lentes y del grado de erosión que haya sufrido el campo volcánico.

Las ocurrencias de uranio en el domo volcánico de Ocuvi son de menor importancia que las de Macusani y Crucero. Las características geológicas de esta zona no sustentan la existencia de un depósito económico. Por lo tanto, dichas anomalías de uranio podrían ser sólo enriquecimientos de una roca volcánica shoshonítica.

De acuerdo a las características geológicas de las ocurrencias de uranio en Vilcabamba, estos depósitos tienen un origen magmático, mas que diagenético - hidrotermal y se clasificarían como “*depósitos de uranio en rocas intrusivas peraluminosas Permo – Triásicas relacionadas a vetas epigraníticas*”.

La zona de Vilcabamba aun no ha sido explorada en su totalidad, si se tiene en cuenta que el estado reservó un total de 8250 Km², sólo se ha explorado 300 Km² a la fecha, lo que representa un 3.6% del área total.

Los clavos mineralizados relacionados a las vetas son de poca extensión y tienen controles estructurales locales. El mineral radiactivo ha sido identificado como uraninita (UO₂). La calcita rosada puede ser considerada como una guía de exploración (Gabelman, 1962).

En general, falta bastante por estudiar y explorar en la región de Vilcabamba. Sin embargo, la cercanía a los intrusivos ácidos, los controles estructurales regionales y las características metalogenéticas de la zona puede ser considerada promisoría para continuar la exploración de uranio.

Por otra parte, las anomalías de uranio en rocas sedimentarias parecen que no tienen ningún potencial económico. Es posible que estas anomalías sean el producto de una erosión de rocas volcánicas con facies peraluminosas, probablemente del Gpo. Mitu, que se depositaron en las cuencas sedimentarias del arco interno. Esto se puede evidenciar con la presencia de clastos de obsidiana en los estratos anómalos de uranio (Fm Huancané).

Se debe tener presente que el segmento del Batolito de Carabaya también presenta facies intrusivas peraluminosas e inclusive Clark et al. (1990) reporta ocurrencias de uranio cerca de la localidad de Coaza. Es muy probable que estas facies peraluminosas estén enriquecidas en uranio; una lixiviación profunda puede removilizarlo y reconcentrarlo en forma económica en estructuras tipo vetas relacionadas a intrusivos peraluminosos.

Finalmente se han reconocido dentro de nuestra zona de estudio tres subfranjas relacionadas a la mineralización de uranio, las cuales serán mencionadas de acuerdo a su mayor potencial: 1) Depósitos de uranio en rocas volcánicas peraluminosas Mio-Pliocénicas, 2) Depósitos y ocurrencias de uranio en rocas intrusivas peraluminosas Permo – Triásicas y 3) Ocurrencias de uranio en rocas sedimentarias Cretácicas.

BIBLIOGRAFÍA

- **Barnes, A. E., Edwards, G., Mclaughlin, W. A., Friedman, F., and Joensuu, O. (1970)** Macusanite Occurrence, age, and composition. En: Geol. Soc. American Bull. Vol. 81, pag. 1539 – 1546.
- **Carlier, G., Grandin, G., Labaucher, G., Marocco, R. & Mégard, F. (1982)** Present Knowledge of the Magmatic Evolution of the Eastern Cordillera of Peru. En: Earth-Sciences Review, 18, pag. 253 – 283.
- **Clark, A. H., Farrar, E., Kontak, D. J., Langridge, R. J., Arena, M. J. (1990)** Geologic and Geochronologic Constraints on the Metallogenic Evolution of the Andes of Southeastern Peru. In: Economic Geology, vol. 85, pag. 1520 – 1583.
- **Dahlkamp, F. (1993)** Uranium Ore Deposits. En: Springer –Verlag Berlin – Heidelberg. Pag. 449.
- **Francis, Godfrey H. (1956)** La Geología de la zona entre Macusani y Ollachea, provincia de Carabaya, departamento de Puno. En: Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero. Boletín, n. 15, pp. 61-75, 1956.
- **Gabelman J. W. (1962)** Vilcabamba uranium deposits, Cusco department, Peru. En: Informe Técnico de la Junta Central de Energía Atómica RME -4551. Pág. 19.
- **Jemielita, Richard (2005)**. Reporte interno de Solex Resource Corporation.
- **Kontak, D. J., Clark, A. H., Farrar, E., Pearce, T. H., Strong, D. F. and Baadsgaard, H. (1986)** Petrogenesis of a Neogene shoshonite suite, Cerro Moromoroni, Puno, SE Peru. In: Canadian Mineralogist, Vol. 24, pag. 117 – 135.
- **Laboucher, G., Sébrier, M., Fornari, M., and Carlier, G., (1988)** Oligocene and Miocene continental sedimentation, tectonics, and S-type magmatism in the southeastern Andes of Peru. (Crucero basin): Geodynamic implications: Jour. South American Earth Sci., vol. 1 pag. 225 -238.
- **Mamani, M., Ibarra, I., Carlier, G., Fornari, M. (2004)** Petrología y Geoquímica del Magmatismo Alcalino de la zona noroeste del altiplano peruano (Departamento Puno). En: Publicación especial SGP N°5 pag. 157 – 174.
- **Noble, D. C., Vogel, T. A., Petersen, P. S., Landis, G. P., Grant, N. K., Jesck, D. A., and Mckee, E. H. (1984)** Rare Element enriched, S-type ash flow tuffs containing phenocrysts of muscovite, andalusite and sillimanite, southern Peru. In: Geology, Vol. 12, pag. 35 – 39.
- **Pichavant, M., Kontak, D. J., Briqueu, L., Valencia, J., Clark, A. H. (1988b)** The Miocene – Pliocene Macusani volcanics, SE Peru: II. Geochemistry and origin of a felsic peraluminous magma. In: Contr. Mineralogy Petrology, Vol. 100, pag. 325 – 338.
- **Ramos, V. A. (1988)** Late Proterozoic-early Paleozoic of South America – a collisional history: Episodes, vol. 11, pag. 168 – 174.
- **Sempere, T., Jacay, J., Pino, A., Bertrand, H., Carlotto, V., Fornari, M., García, R., Jimenéz, N., Marzoli, A., Meyer, C. A., Rosas, Silvia & Soler, Pierre. (2004)** Estiramiento Litosférico del Paleozoico superior al Cretáceo medio e el Perú y Bolivia. En: Publicación especial SGP, N° 5, Pag. 45 – 79.