

EL VULCANISMO PERMO-TRIASICO DEL BLOQUE DE SAN RAFAEL  
(PROVINCIA DE MENDOZA) Y SU POTENCIAL URANIFERO

Laura E. KLEIMAN

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
República Argentina

Trabajo a ser presentado en el 12. Congreso Geológico Argentino  
-2. Congreso de exploración de hidrocarburos 10-15 de Octubre  
de 1993 Mendoza - Argentina-

EL VULCANISMO PERMO-TRIÁSICO DEL BLOQUE DE SAN RAFAEL  
(PROVINCIA DE MENDOZA) Y SU POTENCIAL URANIFERO.

Laura E. KLEIMAN. Gerencia de Exploración. Comisión  
Nacional de Energía Atómica. Avda. del Libertador 8250.  
Buenos Aires. Argentina.

ABSTRACT.

Permo-Triassic vulcanism in the San Rafael Block, Mendoza, Argentina, forms part of the Choiyoi province and is represented by large volumes of intermediate to silicic ignimbrites with minor subvolcanic bodies of rhyolites, andesites and basandesites. Three different suites can be distinguished: the first one (Lower Section) of Early Permian age, is composed of dacites and rhyolites ( $\text{SiO}_2$  up to 71%) with minor andesites, the second one (Upper Section) of Late Permian- Early Triassic age is made up of rhyolites ( $\text{SiO}_2$  up to 77%) with some basandesites and andesites, and the third one, of Triassic age is composed of rhyolites ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ) and basandesites. These suites are easily distinguished by means of trace element data and are believed to represent the transition between a subduction-related magmatic arc and an extensional tectonic regime. This tectonic setting is similar to the prevalent during the Cenozoic in the Sierra Occidental of Mexico and is favourable for the development of long-lived hydrothermal systems which lead to economic U concentrations (i.e. Sierra de Peña Blanca). In the San Rafael Block, the Dr Baulies-Los Reyunos U deposit, which is hosted in volcanic sediments, is associated to the first suite (Lower Section). Although minor U concentrations are known, up to date, to be related to the second and third suites, these rocks are fertile and seem to be a potential source for the formation of uranium deposits within a volcanic caldera environment.

EL VULCANISMO PERMO-TRIASICO DEL BLOQUE DE SAN RAFAEL  
(PROVINCIA DE MENDOZA) Y SU POTENCIAL URANIFERO.

Laura E. KLEIMAN. Gerencia de Exploración. Comisión  
Nacional de Energía Atómica. Avda. del Libertador 8250.  
Buenos Aires. Argentina.

ABSTRACT.

Permo-Triassic vulcanism in the San Rafael Block, Mendoza, Argentina, forms part of the Choiyoi province and is represented by large volumes of intermediate to silicic ignimbrites with minor subvolcanic bodies of rhyolites, andesites and basandesites. Three different suites can be distinguished: the first one (Lower Section) of Early Permian age, is composed of dacites and rhyolites ( $\text{SiO}_2$  up to 71%) with minor andesites, the second one (Upper Section) of Late Permian- Early Triassic age is made up of rhyolites ( $\text{SiO}_2$  up to 77%) with some basandesites and andesites, and the third one, of Triassic age is composed of rhyolites ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ) and basandesites. These suites are easily distinguished by means of trace element data and are believed to represent the transition between a subduction-related magmatic arc and an extensional tectonic regime. This tectonic setting is similar to the prevalent during the Cenozoic in the Sierra Occidental of Mexico and is favourable for the development of long-lived hydrothermal systems which lead to economic U concentrations (i.e. Sierra de Peña Blanca). In the San Rafael Block, the Dr Baulies-Los Reyunos U deposit, which is hosted in volcanic sediments, is associated to the first suite (Lower Section). Although minor U concentrations are known, up to date, to be related to the second and third suites, these rocks are fertile and seem to be a potential source for the formation of uranium deposits within a volcanic caldera environment.

1. INTRODUCCION.

Los yacimientos de uranio en rocas volcánicas y volcanoclásticas están asociados a rocas ácidas calcoalcalinas a levemente alcalinas (Wenrich, 1985; Leroy y George-Aniel, 1992), y para su formación requieren de un proceso hidrotermal póstumo que actúe durante largo tiempo, para movilizar y reconcentrar el uranio (Treuil, 1985; Wenrich, 1985). Este proceso ocurre con mayor facilidad en las rocas piroclásticas (Treuil, 1985). Asimismo, dada la gran movilidad de este elemento en ambientes oxidantes, el mismo puede incorporarse a los acuíferos y formar yacimientos en sedimentos asociados a las vulcanitas (Wenrich, 1985). Treuil (1985) sostiene que para que los sistemas hidrotermales actúen durante largo tiempo, y así obtener una concentración económica de uranio en ambientes volcánicos, se requiere un cambio en las condiciones tectónicas que consiste en el pasaje de una zona de subducción a una zona de rift, como sucedió durante el Cenozoico en la Sierra Madre Occidental de México, donde se encuentra el yacimiento de uranio de Peña Blanca

(Magonthier, 1985 a y b). Un modelo similar había sido propuesto anteriormente por Zhaobo (1981) para los yacimientos cretácicos de la China.

El vulcanismo Permo-Triásico del Bloque de San Rafael (BSR) forma parte de la llamada provincia magmática Cuyano-Nordpatagónica (Rapela y Llambías, 1985) o provincia riolítica Choiyoi (Kay et al, 1989), de gran extensión areal en nuestro país, y es posterior a la fase orogénica San Rafael que plegó los sedimentos marinos y continentales del Carbonífero Superior-Pérmico Inferior (Llambías et al, en prensa). En esta zona está representado predominantemente por ignimbritas, con menor volumen de lavas y cuerpos subvolcánicos y escasas rocas intrusivas asociadas. De acuerdo a su composición pueden distinguirse dos tipos de vulcanismo diferentes para el Pérmico-Triásico Inferior (Kleiman y Salvarredi, 1989; Malvicini y Delpino, 1989; Llambías et al, en prensa; Kleiman, en prep.), que por analogía con la Cordillera Frontal, Llambías et al (en prensa), denominaron Sección Inferior y Sección Superior. La primera está integrada por ignimbritas y brechas andesíticas del Pérmico Inferior, en las que predominan las composiciones andesíticas, dacíticas y riolíticas, y la segunda por ignimbritas, lavas y cuerpos subvolcánicos del Pérmico Superior-Triásico Inferior, de composición predominantemente riolítica, con intercalaciones de basandesitas y andesitas. El vulcanismo triásico está integrado por ignimbritas riolíticas con intercalaciones de basaltos y andesitas. Este cambio de composición de los magmas puede relacionarse con la cesación de una etapa de subducción y el comienzo de una etapa distensiva, como fue propuesto por diversos autores para explicar la evolución del magmatismo gondwánico permo-triásico en Chile, en la Cordillera Frontal y en La Pampa (Kay et al, 1989; Mpodozis y Kay, 1990, 1992; Llambías y Sato, 1990; Sruoga y Llambías, 1992).

La CNEA ha desarrollado estudios de detalle en la parte norte del BSR por encontrarse en esa zona el yacimiento de uranio Dr Baulies-Los Reyunos, alojado en vulcanitas epiclásticas de la Sección Inferior (Kleiman y Salvarredi, 1989, Kleiman, en prep. Meza, en prep.). En las rocas de la Sección Superior y triásicas se conocen hasta la fecha, manifestaciones de uranio de escaso valor económico (Belluco et al, 1974), y el estudio de estas rocas se encuentra en etapa de desarrollo (Salvarredi, en prep.; Kleiman, en prep.).

Si bien se cuenta por el momento con escasa información sobre las vulcanitas de la Sección Superior y triásicas, en el presente trabajo se hace una caracterización preliminar del vulcanismo ácido permo-triásico del sector norte y central del BSR desde un punto de vista petrográfico y geoquímico, y se evalúa su potencial uranífero, principalmente como roca fuente de uranio, considerando su evolución y su ambiente tectónico, de acuerdo al modelo propuesto por Treuil (1985).

## 2.GEOLOGIA DEL AREA.

La Figura 1 muestra en forma simplificada la geología del sector norte y central del BSR, con la ubicación de algunas de las zonas muestreadas. Las rocas del sustrato están representadas principalmente por metasedimentitas (facies de esquistos verdes) del Ordovícico-Devónico (F. La Horqueta), y por sedimentos marinos y continentales del Carbonífero Superior-Pérmico Inferior (F. El Imperial) que son posteriores a escasas intrusiones tonalíticas y granodioríticas (Stock de Agua de la Chilena) atribuidas al Carbonífero Inferior. Mas al sur, en la zona de Ponon-Trehue hay metamorfitas precámbricas (F. La Ventana), metamorfizadas a facies de anfibolita. Las rocas carboníferas han sido afectadas por la fase diastrófica San Rafael, y se encuentran plegadas y deformadas. El plegamiento produjo la formación de 2 cubetas de orientación norte-sur durante el Pérmico inferior, donde se depositaron las vulcanitas y sedimentitas de la Sección Inferior (Kleiman y Salvarredi, 1989; Llambias et al, en prensa).

En la zona estudiada, la Sección volcánica Inferior (Pérmico inferior) está representada principalmente por el Grupo Cochicó (Dessanti, 1956), la Sección Superior (Pérmico Superior-Triásico) por las Formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito, mientras que las rocas triásicas están integradas en la Formación Puesto Viejo (González Díaz, 1972). Si bien hasta la fecha no se han ubicado con precisión los centros emisores para este vulcanismo, se sospecha de la existencia de varios centros de caldera para la Sección Superior, (Salvarredi, en prep.) y de por lo menos dos centros emisores para la Sección Inferior (Meza, 1988). Esto dificulta la correlación, así como la aplicación de nombres formales a estas rocas, ya que los productos de diferentes centros volcánicos pueden estar interdigitados.

Las rocas de la Sección Superior apoyan en discordancia angular y erosiva sobre las de la Sección Inferior y sobre el sustrato pre-Pérmico. Asimismo, las rocas triásicas presentan una relación netamente discordante con las rocas de la Sección Superior (González Díaz, 1972). Las rocas de la Sección Inferior se encuentran levemente deformadas y plegadas como consecuencia de movimientos de empuje vertical (Lardone y Giordano, 1984). Las rocas de la Sección Superior y las triásicas, se encuentran afectadas por fallas directas y de desplazamiento de rumbo, conformando una serie de fosas y pilares con orientación es NNO-SSE (Kleiman y Salvarredi, 1989).

### 2.1.Sección Inferior:

El grupo Cochicó (Formaciones Yacimiento Los Reyunos y Arroyo Punta del Agua, de Rodríguez y Valdiviezo, 1970) es una sucesión volcano-sedimentaria. La Formación Yacimiento Los Reyunos está integrada por conglomerados polimícticos depositados en ambiente de abanicos aluviales y/o flujo de detritos (Maloberti, 1983), brechas andesíticas, ignimbritas dacíticas a riolíticas, poco soldadas, de textura porfirica y aspecto masivo (Miembro Toba Vieja

Gorda), y arenitas fluviales y eólicas que constituyen la facies epiclástica de las ignimbritas (Miembro Areniscas Atigradas). El Miembro Areniscas Atigradas aloja al yacimiento de uranio Dr Baulies-Los Reyunos, y ha sido estudiado en detalle en la zona del yacimiento (Lardone, 1984; Saulnier et al, 1989). Asimismo, el Miembro Toba Vieja Gorda (TVG) ha sido objeto de estudios de detalle, por ser considerado como roca fuente de uranio del yacimiento (Nicolli, 1974; Ferreyra, 1982; Kleiman y Salvarredi, 1989, Meza, en prep.). Es así que Meza (1990 y en prep.) describió 7 unidades efusivas para esta ignimbrita y ubicó el posible centro emisor de la misma en la Loma Colorada del Infiernillo.

Edades K/Ar para las ignimbritas varían entre  $276 \pm 5$  m.a. (Linares et al, 1979) y  $256 \pm 9$  m.a. (Vilas y Valencio, 1982).

La Formación Arroyo Punta del Agua es similar a la anterior, pero en ella predominan las brechas andesíticas (brechas volcánicas y laharitas; Meza, 1990).

## 2.2. Sección Superior:

Esta sección comienza con conglomerados polimícticos o con laharitas de composición andesítica (Meza, 1990). Siguen ignimbritas dacíticas y riolíticas (Toba del Tesoro Misterioso), con textura eutaxítica, ignimbritas riolíticas de aspecto masivo y porfírico y lavas riolíticas (Formación Agua de los Burros).

La sucesión anterior, así como las rocas de la Sección Inferior y del sustrato, están intruidas por diques y cuerpos subvolcánicos andesíticos (Formación Quebrada del Pimiento). Los diques ocupan juegos de fracturas tensionales de rumbo NNO-SSE y OSO-ENE (Kleiman y Salvarredi, 1989; Llambías et al, en prensa), son de escaso volumen, pero de amplia difusión en la zona norte y central del BSR, y posiblemente constituyan una asociación bimodal con las riolitas. No se descarta que hayan varias generaciones de diques y cuerpos andesíticos. Edades K/Ar para estas rocas son de aproximadamente  $266 \pm 10$  m.a. (Linares et al, 1979).

Finalmente, se encuentran cuerpos subvolcánicos de hasta 10 km de extensión, ignimbritas porfíricas y lavas de composiciones riolíticas (Formación Cerro Carrizalito).

## 2.3. Triásico:

El vulcanismo triásico está representado por una asociación bimodal en la que alternan ignimbritas riolíticas muy soldadas, y basandesitas y andesitas, con algunas intercalaciones de sedimentos fosilíferos (Formación Puesto Viejo). Las ignimbritas fueron datadas por K/Ar en  $230 \pm 10$  m.a. (Valencio et al, 1975).

## 3. PETROGRAFIA.

En esta sección se describirán exclusivamente las ignimbritas ácidas, debido a que son las que tienen interés como roca fuente de uranio. Un trabajo mas completo sobre todo el vulcanismo se encuentra en elaboración (Kleiman, en

prep.). La composición de estas rocas está resumida en el cuadro 1.

### 3.1. Sección Inferior:

#### 3.1.1. Miembro Toba Vieja Gorda (TVG):

Estas son ignimbritas muy ricas en cristales (hasta 65% en volumen de la roca), compuestas por oligoclasa-andesina, cuarzo, sanidina y biotita, con óxidos de hierro y titanio, apatita y circón como accesorios. Las plagioclasas (25 a 35%) pueden presentar zonación directa ó menos comúnmente inversa, están macladas, y es común la albitización de sus bordes, así como la presencia de exsoluciones antiperitíticas. En algunos casos están parcialmente reemplazadas por carbonatos o arcillas. El cuarzo (10 a 18%) se presenta en cristales subhedrales y son comunes los engolfamientos y corrosiones. La sanidina (2 a 8%) se encuentra en cristales subhedrales a anhedrales, a veces con maclas de Carlsbad, generalmente limpia, aunque puede presentar exsoluciones peritíticas y alteración arcillosa o carbonática.

La biotita es el único mineral máfico presente, y puede presentarse fresca, oxidada (oxibiotita), cloritizada, o transformada a mica blanca (Kleiman et al, 1992).

Son comunes los fragmentos líticos del sustrato (hasta 12%), y los accesorios (hasta 28%). El tamaño y la cantidad de pómez es muy variable y puede superar el 20% de la roca. Contienen fenocristales diversos y han perdido casi completamente su textura original, se encuentran recristalizados a feldespato y/o a cuarzo de grano fino, o están argilizados, sericitizados o parcialmente reemplazados por carbonatos.

La mesostasis es generalmente afanítica, está argilizada y en algunos casos recristalizada a axiolitas o esferulitas de feldespato. Son comunes las pátinas de óxidos de hierro. En muy pocos casos se observa la presencia de restos de trizas vítreas.

Además de las alteraciones descritas, en algunas zonas estas rocas presentan fenómenos de alteración hidrotermal mas avanzada, que consiste en la sericitización de los feldespatos, pómez y mesostasis, junto con la transformación de biotita en mica blanca, y de titanomagnetita en rutilo y anatasa. Hay además calcita, siderita, clorita y baritina. En otros casos, los feldespatos y los pómez están reemplazados por caolinita, carbonatos y cloritas, las biotitas por micas blancas y las titanomagnetitas por rutilo y leucóxeno.

#### 3.1.2. Miembro Areniscas Atigradas:

La petrografía de estas rocas fue descrita en Saulnier et al, 1989. Son arenitas feldespáticas con abundante material volcánico y su mineralogía es similar a la del Miembro TVG pero con alteraciones mas intensas.

#### 3.1.3. Formación Arroyo Punta del Agua:

Las ignimbritas presentan una mineralogía y textura similar a las del Miembro TVG, lo que las hace indistinguibles desde el punto de vista petrográfico.

algunas muestras presentan composiciones mas andesíticas con fenocristales de andesina y sin cuarzo.

3.2. Sección Superior :

Las ignimbritas de la Sección Superior (Formaciones Agua de los Burros y Cerro Carrizalito) son mas pobres en cristales que las de la Sección Inferior (hasta 45%), pero la mineralogía es similar. Las ignimbritas dacíticas y riolíticas (Miembro Toba del Tesoro Misterioso de la Formación Agua de los Burros) presentan en general feldespatos reemplazados por caolinita e illita y es común la alteración carbonática de la mesostasis.

En esta sección predominan las riolitas que contienen una mayor cantidad de sanidina (10 a 20%) que de plagioclasa ( 10%), esta última es mas sódica (oligoclasa) que en la Sección Inferior. Los mafitos son escasos (3%) y ocasionalmente puede encontrarse anfíbol además de biotita. La sanidina está maclada según la ley de Haverly y, como las plagioclasas y el cuarzo, se presenta en cristales euhedrales menos fragmentados y corroídos que los de la Sección Inferior. Es común la presencia de exsoluciones perfitinas y albitización en los feldespatos. En ocasiones pueden estar cloritizados y sericitizados. Los anfíboles están reemplazados por óxidos de hierro y titanio, arcillas, cloritas y carbonatos. Las biotitas pueden estar reabsorbidas por la pasta o transformadas en óxidos de hierro y titanio.

Los pómez (20 a 30%) y la mesostasis están desvitrificados y recristalizados a aciolitas o esferulitas y se observa también cuarzo "granofánico" (Lofgren, 1971). Hay abundantes trizas por lo común muy deformadas, lo que da un aspecto fluidal a estas rocas. Los pómez preservan mejor sus texturas originales que los de las ignimbritas de la Sección Inferior. Los fragmentos líticos son escasos ( 5%), de composición andesítica los accidentales y de composición riolítica los accesorios.

3.3. Triásico:

Las ignimbritas de la Formación Puesto Viejo son riolitas, mas pobres en cristales que las anteriores ( 20%), y están compuestas por cuarzo (2 a 8%), sanidina (5 a 9%), oligoclasa ( 3%), biotita ( 5%), y circón, como principal mineral accesorio. El cuarzo es subhedral a euhedral, con los bordes engolfados. Los feldespatos son muy similares a los de la Sección Superior. Las biotitas están desfleadas y reemplazadas por sílice o cloritas, y por óxidos de hierro y titanio. Los fragmentos líticos son escasos ( 1%), y corresponden a ignimbritas de similar composición. Los pómez (hasta 20%) están recristalizados a feldespato esferulítico y sílice. La mesostasis es afanítica y está argilizada y recristalizada como los pómez. Hay abundantes trizas y cavidades rellenas por calcedonia, cuarzo, y ocasionalmente, por ceolitas.



#### 4. GEOQUIMICA.

Las muestras fueron analizadas por elementos mayoritarios y trazas en los laboratorios del CRPG, Nancy, Francia, y en los laboratorios de la Gerencia de Fijación de la CNEA. En el primer caso los análisis fueron realizados por medio de un quantómetro, con excepción del Th, U y Tierras Raras, que fueron analizados por ICP. En el segundo caso, los elementos mayoritarios fueron analizados por vía húmeda, el U total y lábil por fluorescimetría laser y el resto de los elementos traza por PIX. Los resultados analíticos de 3 muestras representativas se encuentran en el cuadro 2.

##### 4.1. Sección Inferior:

Las rocas de la Sección Inferior (Grupo Cochicó) son andesitas (58 a 62% de  $\text{SiO}_2$ ), dacitas (65 a 68 % de  $\text{SiO}_2$ ) y riolitas (68 a 71% de  $\text{SiO}_2$ ). Son subalcalinas ( $\text{mol Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5$  a  $0,7$ ), meta a peraluminosas ( $\text{mol Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO} = 0,8$  a  $1,25$ , corindón normativo 1 a 3%) y pertenecen a la serie de potasio medio a alto con  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$  (figura 2).

Los términos menos silíceos de la serie son pobres en Rb, Th y U, y ricos en Ba, Sr y  $\text{TiO}_2$  con respecto a los términos mas ácidos. Las dacitas y riolitas son a su vez ricas en Ba y Sr y relativamente ricas en Rb (figura 3). La relación La/Yb oscila entre 20,5 y 43,9, con anomalías negativas de Eu muy poco pronunciadas o casi inexistentes, debido a la elevada concentración de cristales de plagioclasa (25 a 35% en volumen del total de la roca). El contenido total de uranio no supera los 3 ppm y la relación Th/U promedio es de 5,41 ( $s_1 = 0,48$ ;  $n=25$ ) o sea que es mayor a la considerada "magmática normal" (Kleiman y Salvarredi, 1989) (Figura 4).

##### 4.2. Sección Superior:

Las rocas de la Sección Superior (Formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito) son andesitas (~60%  $\text{SiO}_2$ ) y riolitas con bajo (68 a 70%) y alto (71 a 77%) contenido de sílice, no existiendo los términos intermedios. Son subalcalinas ( $\text{mol Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,7$  a  $0,9$ ), meta a ligeramente peraluminosas ( $\text{mol Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO} = 0,89$  a  $1,14$ , corindón normativo  $\leq 3$  %). Los términos ácidos son de potasio alto, con  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1$  (figura 2).

Las riolitas son pobres en elementos de transición (Ca, Fe, Sc, Ti, Ba, Sr, V, Ni, Cr) y están enriquecidas en K, Rb, Th, Zr, Nb, Y y U (2,5 a 5 ppm). La relación Th/U es de 3 a 6. El diseño de tierras raras es mas plano que el de las riolitas de la Sección Inferior (La/Yb = 8,9) y la anomalía negativa de Eu es acentuada ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,22$ ) (figura 3). Las riolitas con bajo contenido de sílice de esta sección están empobrecidas en elementos incompatibles con respecto a las riolitas con alto contenido de sílice, pero son mas ricas en esos elementos que las riolitas de la Sección Inferior.

#### 4.3. Triásico:

Las rocas triásicas son andesitas (62% de  $\text{SiO}_2$ ) y riolitas ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ), subalcalinas ( $\text{mol Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,7$  a  $0,8$ ), meta a ligeramente peraluminosas ( $\text{mol Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 0,86$  a  $1,38$ ), son de potasio alto y la relación  $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$  es  $< 1$  para las riolitas (figura 2).

Estas riolitas presentan características similares a las de la Sección Superior, pero son más ricas en Rb, Nb, Y, Zr, Th, U, Be (figura 2). El diseño de Tierras Raras es casi plano ( $\text{La} / \text{Yb} = 2,7$  a  $7,79$ ) y la anomalía negativa de Eu es más acentuada que en la Sección Superior ( $\text{Eu} / \text{Eu}^* = 0,07$  a  $0,13$ ) (figura 3). La relación  $\text{Th} / \text{U}$  es de  $\sim 3$  a  $6$ . (figura 4).

### 5. DISCUSION.

#### 5.1. Origen del vulcanismo permo-triásico:

Si bien una interpretación petrogenética detallada está fuera de los objetivos de este trabajo, se pueden realizar algunas precisiones sobre estas rocas e intentar algunas explicaciones sobre su ambiente de formación.

Por sus características, las rocas de la Sección Inferior representan una típica asociación calcoalcalina, y sus términos más ácidos coinciden con las riolitas clase I tipo alto K de Sruoga (1990), relacionadas a ambientes de placas convergentes. En el diagrama de Pearce et al, 1984 (figura 5) las rocas con  $\text{SiO}_2 > 68\%$  caen en el campo de granitos de arco volcánico. Estas rocas serían el producto de diferenciación de un magma andesítico, originado en una corteza engrosada. En el otro extremo, las riolitas triásicas presentan características de riolitas de intraplaca continental o riolitas II de Sruoga (1990), y dentro de este grupo, de riolitas subalcalinas con biotita. Constituyen una asociación netamente bimodal y en la figura 5 caen en el campo de los granitos de intraplaca. Las rocas de la Sección Superior son más afines con las riolitas triásicas, aunque presentan características intermedias entre los dos grupos mencionados, que pueden haber sido "heredadas" de las riolitas de la Sección Inferior (figuras 2, 3 y 5). Las riolitas de la Sección Superior presentan características de extremos muy diferenciados de magmas calcoalcalinos. No se puede descartar que estas rocas, así como las riolitas triásicas, tengan afinidades con las riolitas con topacio del Oeste de Estados Unidos (Burt y Sheridan, 1985), como proponen Sruoga y Llambías (1992) para las riolitas de Lihue Calel. En la manifestación de uranio de Pircas del Mesón se encontró topacio y fluorita en riolitas muy alteradas (Kleiman, 1990). Sin embargo, no se cuenta con datos suficientes (contenido de F, etc.) como para llegar a alguna conclusión al respecto.

Diversos autores (Llambías y Sato, 1990; Mpodozis y Kay, 1990, 1992) mencionan la existencia de un engrosamiento cortical luego de la fase orogénica San Rafael. Asimismo, Sruoga y Llambías (1992), consideran que las ignimbritas de Lihue Calel, están relacionadas a un régimen tectónico extensional que fue precedido por una fase compresiva, durante la cual se produjo un engrosamiento cortical. Esto explicaría las altas

relaciones La/Yb de las rocas de la Sección Inferior, mientras que esta relación disminuye gradualmente en las rocas de la Sección Superior y es baja en las riolitas triásicas, indicando una disminución relativa de la presión de fusión o de fraccionamiento, coherente con una extensión y adelgazamiento cortical. Podría decirse entonces que estas rocas representan una transición entre una asociación de arco volcánico relacionado a una zona de subducción, y un régimen de extensión continental anorogénico. Las rocas de la Sección Inferior, si bien son posorogénicas, mantienen las características de una asociación originada por un régimen subductivo, las rocas triásicas, se aproximan más a las rocas de regiones anorogénicas, sin alcanzar los extremos de rocas alcalinas y peralcalinas, y las rocas de la Sección Superior, son intermedias entre ambos tipos. Por sus características petrológicas y ambiente de formación, el vulcanismo permo-triásico del BSR presenta importantes similitudes con el vulcanismo cenozoico de la Sierra Madre Occidental de México y de Trans-Pecos, Texas (Estados Unidos) que representa una transición entre un régimen tectónico compresivo y uno extensional (Mc Dowell y Clabaugh, 1979; du Bray y Pallister, 1991; Wark, 1991; Henry et al, 1991; James y Henry, 1991).

#### 5.2. Potencial uranífero del vulcanismo permo-triásico:

Los yacimientos de uranio asociados a rocas volcánicas son básicamente de dos tipos: 1) aquellos vinculados a una caldera y que se encuentran alojados en algunas de las rocas del ciclo de caldera y 2) aquellos que se encuentran alojados en sedimentos que pueden estar o no relacionados a una caldera. (Goodell, 1985; Wenrich, 1985).

Como se mencionó anteriormente hay condiciones tectónicas más favorables para obtener una concentración económica de uranio en ambientes volcánicos. Según Treuil (1985) estas condiciones son las siguientes: 1) un gran volumen de magma andesítico relacionado a una zona de subducción; 2) inyección y diferenciación por largo tiempo de ese magma en distintos niveles de una litosfera comprimida; 3) extrusión y erupciones sucesivas de este magma muy diferenciado durante una etapa distensiva posterior. Según este autor, en los magmas originados en zonas de subducción, el U y Th se enriquecen relativamente con respecto a otros elementos higromagmatófilos (Nb, Zr, Tierras Raras pesadas, Y, etc.). Esto se debe a que, si la fusión parcial ocurre bajo condiciones de alta presión de agua, estos últimos elementos tienden a concentrarse más fácilmente en los minerales hidroxilados, produciendo el mencionado enriquecimiento relativo de Th y U. Por lo tanto, según este modelo, las condiciones de formación de las ignimbritas permotriásicas del BSR parecen ser las más adecuadas para el desarrollo de yacimientos de uranio.

Por otra parte, estudios recientes de George (1987), Leroy y George-Aniel (1992), concluyen que las rocas volcánicas más favorables como roca fuente de uranio son aquellas ricas en aluminio y álcalis, siendo las rocas alcalinas, subalcalinas y calcoalcalinas menos adecuadas. Asimismo, estos autores consideran que una ignimbrita, para

ser una roca fuente apta, debe tener un porcentaje elevado de matriz, ya que el U es lixiviado directamente de la misma, mientras que los minerales accesorios son estables. Es así que la desvitrificación a alta temperatura y la cristalización en fase vapor concentran en ciertos puntos, a escala de los minerales, el uranio diseminado previamente y aumentan la eficiencia de las etapas de lixiviación subsiguientes (Leroy y George-Aniel, 1992).

Teniendo en cuenta estos conceptos se comparan las rocas aquí estudiadas, con las rocas consideradas favorables y desfavorables por los mencionados autores. En el diagrama R1-R2 de De La Roche et al (1980) (figura 4) se observa que el campo de las rocas de la Sección Superior y triásicas, coincide con el de las rocas cenozoicas de Peña Blanca, Sierra Madre Occidental (Méjico) consideradas como favorables, mientras que el campo de las rocas de la Sección Inferior, se superpone con el de las ignimbritas cenozoicas de Bolivia y la Puna Argentina, que son desfavorables desde el punto de vista uranífero. Esto último contradice las observaciones de Leroy y George-Aniel, 1992, ya que las ignimbritas de la Sección Inferior son consideradas como la roca fuente de uranio del yacimiento Dr Bauliés-Los Reyunos.

Por otra parte, la segunda condición que postulan estos autores, cantidad de matriz vítrea, es muy superior en las ignimbritas de la Sección Superior y triásicas (50 a 70%) mientras que en la Sección Inferior el porcentaje de matriz oscila entre 25 y 40%. Asimismo, los fenómenos de cristalización "granofírica" y en fase vapor, son más comunes de observar en las ignimbritas de la Sección Superior.

Tres muestras de la Sección Inferior (ignimbrita TVG), fueron estudiadas por trazas de fisión en el CREGU, Francia, por Villieras (1987). Este método permite observar la distribución del uranio en las diferentes fases, y su contenido puede ser estimado al comparar la densidad de las trazas con las de una muestra patrón. De este modo se determinó que el uranio se encuentra en los circones, apatitas, hidróxidos de hierro diseminados en la matriz, y en titanomagnetitas alteradas. El cuadro 4, modificado de Villieras (1987), muestra la contribución porcentual de la mesostasis "vítrea" al contenido total de uranio de la roca, así como la cantidad de uranio lixiviable por metro cúbico de roca, considerando que el mismo proviene exclusivamente de la mesostasis. Según interpreta el mencionado autor, en la primera muestra el uranio permaneció en los minerales oxidados y no fue removido secundariamente, lo que sí sucedió en las otras dos muestras estudiadas. Lamentablemente, no se cuenta con datos de trazas de fisión para las ignimbritas de la Sección Superior y las triásicas, pero una manera de realizar un balance similar al anterior, es comparar el contenido de uranio lixiviado por ácidos débiles o uranio lábil, con el de U total, si se considera lo siguiente: 1) el U total analizado luego del ataque con ácidos fuertes, incluye también al uranio contenido en los minerales refractarios (¿círcon?), y por lo tanto, es representativo del contenido de U total de la roca y 2) el U lábil es

aquel contenido en la matriz "vitrea" y en otras fases como hidróxidos de hierro, arcillas, etc.).

En el cuadro 4 se presenta el resultado de dichos cálculos. Nótese que se han agrupado las rocas de la Sección Superior con las triásicas por contarse con muy pocas muestras y por presentar ambas, características afines. Si bien la cantidad media de uranio lixiviable para la Sección Inferior obtenida por medio de este cálculo (0,82 ppm), es similar a la obtenida por trazas de fisión (0,88 ppm) para la muestra menos alterada (191/85 del cuadro 4), la contribución del U lábil al U total de la roca es mucho mayor en este caso (63%). Esto puede implicar dos cosas: 1) no sólo la matriz de la roca, que en la Sección Inferior es menor del 40%, ha contribuido U lábil o, 2) el U total medido por este método no incluye al contenido en algunas fases refractarias como los circones, y esta cantidad de U total es menor que la real. Es posible también que dada la alteración generalizada que presentan las rocas de la Sección Inferior, muchas de estas muestras hayan perdido uranio anteriormente, como lo indica la relación Th/U (figura 4) y el promedio algo bajo de U total (1,31 ppm). Las rocas de la Sección Superior, contienen mas U total y U lábil, pero, la contribución del U lábil al U total es menor (32%). Por lo tanto puede concluirse que este elemento es mas fácilmente lixiviable de las rocas de la Sección Inferior (figura 7).

En el gráfico de U total vs Th (figura 4), las dacitas y riolitas de la Sección Inferior se apartan mas de la relación magmática considerada normal ( $Th/U = 3$ ), que las rocas de la Sección Superior y triásicas, y parecen haber perdido relativamente mas uranio. Esta sería una explicación de porque la ignimbrita TVG, es una roca apta como fuente de uranio, ya que por sus características petrológicas y por su escasa cantidad de matriz, sería comparable con las rocas menos favorables (figura 6).

Por otra parte, las rocas de la Sección Superior y triásicas presentan características muy favorables como rocas fuente de uranio y aunque su contenido de U lábil es bajo con respecto al de U total, la cantidad de uranio lixiviable por  $m^3$  de roca es mas alto que en las rocas de la Sección Inferior (cuadro 4).

En ambos casos no sólo los fenómenos de desvitrificación, sino también la alteración pneumatolítica e hidrotermal deben haber tenido importancia en la movilización del uranio. Como se mencionó anteriormente, la alteración hidrotermal propilítica y sericitica es mas notable en las rocas de la Sección Inferior, mientras que los fenómenos de cristalización "granofirica" y en fase vapor, así como la cantidad de matriz "vitrea" son mas importantes en las rocas de la Sección Superior y triásicas. Dada la escasa cantidad de muestras de la Sección Superior y triásicas estudiadas para el presente trabajo, no se puede descartar que haya también en estas rocas importantes fenómenos de alteración hidrotermal, similares a los observados en las rocas de la Sección Inferior.

## 6. CONCLUSIONES.

El vulcanismo permotriásico del BSR parece representar una etapa de transición entre un régimen de subducción y uno extensional, con la formación de grandes volúmenes de ignimbritas intermedias y ácidas. Estas condiciones son muy favorables para la concentración de yacimientos económicos de uranio. El yacimiento de uranio Dr Baulies- Los Reyunos, asociado a la sección volcánica inferior con características de arco magmático, está alojado en sedimentos de origen volcanoclastico y su depositación se produjo por medio de aguas circulantes (Saulnier et al, 1989; Kleiman y Salvarredi, 1989). Dada la escasez de sedimentos asociados a las vulcanitas de la Sección Superior y triásicas, que presentan características intermedias entre los dos regimenes, los yacimientos de uranio que podrían encontrarse asociados a estas rocas estarían alojados dentro de las mismas ignimbritas, como en el caso de Peña Blanca en Méjico, o en otras fases del ciclo de una caldera. Por lo tanto, la ubicación de áreas de caldera sería muy importante para la prospección en las rocas de la Sección Superior del Pérmico-Triásico Inferior y en las ignimbritas triásicas.

AGRADECIMIENTOS: La autora agradece a las autoridades de la CNEA el permiso para publicar este trabajo. El mismo se benefició con las sugerencias aportadas por los Dres. M.A. Gamba, A. Vullien, E.J. Llambias, M. Koukharsky y A. Maloberti. Los análisis químicos por vía húmeda fueron realizados por los Dres. G. Tomellini y G. Fucci, los análisis por FRX por el técnico R. Rodano, los cortes delgados por el Sr. J.C. Herrera, y algunas figuras por la Sra. Ana María Gallego. Finalmente, la realización de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo brindado por los colegas J. Salvarredi y J.C. Meza y el personal del Centro de Exploración San Rafael.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.

- BELLUCO, A.E., DIEZ, J.D., ANTONIETTI, C.E., ACHEN, H. y C.J. VALERDI, 1974. Los depósitos uraníferos de las provincias de Mendoza y Neuquén. Actas V Congreso Geológico Argentino, Villa Carlos Paz, Córdoba, II: 35-53.
- BURT, D.M. y M.F. SHERIDAN, 1985. Relation of topaz rhyolite volcanism to uranium mineralization in the western United States of America. En: Uranium Deposits in Volcanic Rocks Proceedings, El Paso, Texas 337-344. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.
- DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. y M. MARCHAL, 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses. Its relationships with current nomenclatures. Chemical Geology 29: 183-210.
- DESSANTI, R.N., 1956. Descripción geológica de la Hoja 27c, Cerro Diamante, provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 85, 79 pp, Buenos Aires.

DU BRAY, E.A. y J.S. PALLISTER, 1991. An ash flow caldera in cross section: Ongoing field and geochemical studies of the Mid-Tertiary Turkey Creek Caldera, Chiricahua mountains, SE Arizona. *Journal of Geophysical Research* 96 (B8) 13435-13457.

FERREYRA, R.E., 1982. Acerca del contenido actual y original de uranio del Miembro Toba Vieja Gorda, Sierra Pintada, Mendoza. Sus implicancias como roca fuente para los yacimientos del área. Inédito, Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno D.E.E. 10-82, Buenos Aires.

GEORGE, B., 1987. Comportement naturel de l' uranium en milieu volcanique et approche experimentale. inédito. Thèse doctoral Université de Nancy I, Francia.

GONZALEZ DIAZ, E.F., 1972. Descripción Geológica de la Hoja 27d, San Rafael, provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 132, pp, Buenos Aires.

GOODELL, P.C., 1985. Classification and model of uranium deposits in volcanic environments. En: *Uranium Deposits in Volcanic Rocks Proceedings*, El Paso, Texas 1-16. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.

HENRY, C.D., PRICE, J.G. y E.W. JAMES, 1991. Mid-Cenozoic stress evolution and magmatism in the Southern Cordillera, Texas and Mexico: Transition from continental arc to intraplate extension. *Journal of Geophysical Research* 96 (B8) 13545-13560

JAMES, E.W. y C.D. HENRY, 1991. Compositional changes in Trans-Pecos Texas magmatism coincident with cenozoic stress realignment. *Journal of Geophysical Research* 96 (B8) 13561-13575

KAY, R.W. y N.J. HUBBARD, 1978. Trace elements in ocean ridge basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 38: 95-116.

KAY, S.M., V.A. RAMOS, C.M. MPODOZIS y F. SRUOGA, 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America ?. *Geology* 17: 324- 328.

KLEIMAN, L.E., 1990. Petrografía, mineralogía y geoquímica de muestras de las manifestaciones Rincón del Atuel, Pircas del Mesón y La Rinconada, San Rafael, Mendoza. Inédito. Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno D.E.E. 26-90, Buenos Aires.

KLEIMAN, L.E., en prep. Mineralogía y petrología del vulcanismo permo-triásico del Bloque de San Rafael en el área de Sierra Pintada, Mendoza, y su relación con las manifestaciones de uranio. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires.

KLEIMAN, L.E. y J.A. SALVARREDI, 1989. El vulcanismo del Pérmico Inferior relacionado con la mineralización de uranio en el área de Sierra Pintada (Mendoza). Inédito. Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno D.E.E. 6-89, Buenos Aires.

KLEIMAN, L.E., SARAGOVI, C., FUGLISI, C. y F. LABENSKI de KANTER, 1992. Biotite oxidation processes in ash-flow tuffs (Mendoza, Argentina): A Mössbauer spectroscopy and chemical study. *Chemical Geology* 97: 251-264.

- LARDONE, L.E., 1984. Variaciones litofaciales de los Miembros Areniscas Atigradas y Toba Vieja Gorda en el área del Yacimiento Dr. Bauliés, Sierra Pintada, Provincia de Mendoza. Actas IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, I: 260-269.
- LARDONE, L.E. y N.L. GIORDANO, 1984. Características estructurales y morfológicas del Yacimiento Tigre I- La Terraza, Sierra Pintada, Provincia de Mendoza. Actas IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, V: 353-368.
- LERDY, J.L. y B. GEORGE-ANIEL, 1992. Volcanism and uranium mineralizations: the concept of source rock and concentration mechanism. Journal of Volcanology and Geothermal Research 50: 247-272.
- LINARES, E., MANAVELLA, M. y PINEIRO, A., 1979. Geocronología de las rocas efusivas de las zonas de los yacimientos "Dr. Bauliés" y "Los Reyunos", Sierra Pintada de San Rafael, Mendoza, República Argentina. Actas VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, II: 13-21.
- LOFGREN, G., 1971. Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass. Geological Society of America Bulletin, 82: 111-124.
- LLAMBIAS, E.J., KLEIMAN, L.E. y J.A. SALVARREDI, en prensa. Magmatismo gondwánico de Mendoza. En: RAMOS, V.A. (Ed.) Relatorio de la provincia de Mendoza.
- LLAMBIAS, E.J. y A.M. SATO, 1990. El Batolito de Colangüil (29-310S) Cordillera Frontal de Argentina: estructura y marco tectónico. Revista Geológica de Chile 17(1): 99-108, Santiago.
- MALOBERTI, A.L., 1983. Análisis estadístico de imbricaciones en el Miembro Psefitico Inferior de la Formación Cochicó. Flanco oriental de la Sierra Pintada. Dpto. San Rafael, Mendoza. Inédito. Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno D.E.E. 22-83, Buenos Aires.
- MAGONTHIER, M. C., 1985 a. Les ignimbrites de la Sierra Madre Occidental et de la Province uranifere de la Sierra Peña Blanca, Mexique. Inédito. Thèse de doctorat d'état. Univ. P. et M. Curie. Paris.
- MAGONTHIER, M. C., 1985 b. Características petrográficas y geoquímicas de las unidades ignimbriticas portadoras de mineralización de uranio de la Sierra de Peña Blanca, México. En: Uranium Deposits in Volcanic Rocks Proceedings, El Paso, Texas 137-150. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.
- MALVICINI, L. y D. DELFINO, 1989. Metalogénesis de los complejos riolíticos de la provincia geológica Sanrafaelino Pampeana y la comarca Nordpatagónica argentina. En: SCHALAMUK, I.B.A., M.K. de BRODTKORB y H.A. LEANZA, editores: Procesos Metalogénicos. Serie Correlación Geológica N°3: 63-82. San Miguel de Tucumán.
- MC DOWELL, F.W. y S.E. CLABAUGH, 1979. Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico. Geological Society of America Special Paper 180: 113-124.
- MEZA, J.C., 1988. Informe mensual del mes de julio. Inédito. Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno, Buenos Aires.



- MEZA, J.C., 1990. Interpretación geológica y potencial uranífero de la prolongación sur de la cuenca pérmica oriental, Bloque de San Rafael, Mendoza, Argentina. Actas XI Congreso Geológico Argentino, San Juan, III: 177-180.
- MEZA, J.C. en prep. Tesis doctoral Universidad de San Luis.
- MORENO PERAL, C.A. y J.A. SALVARREDI, 1984. Interpretación del origen de las estructuras anticlinales del Pérmico Inferior en el Bloque de San Rafael, Provincia de Mendoza. Actas IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, II: 396-413.
- MPODOZIS, C. y S.M. KAY, 1990. Provincias magmáticas ácidas de los Andes chilenos (28°-31°S) y evolución tectónica de Gondwana. Revista Geológica de Chile 17: 153-180.
- MPODOZIS, C. y S.M. KAY, 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S). Geological Society of America Bulletin 104: 999-1014.
- NICOLLI, H.B., 1974. Consideraciones sobre la génesis de depósitos uraníferos en areniscas: distrito de Sierra Pintada, departamento de San Rafael, provincia de Mendoza. Actas V Congreso Geológico Argentino, Villa Carlos Paz, Córdoba, II: 223-242.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W. y A.G. TINDLE, 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25: 956-983.
- RAPELA, C.W. y E.J. LLAMBIAS, 1985. Evolución magmática y relaciones regionales de los complejos eruptivos de La Esperanza, provincia de Rio Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina 40(1-2): 4-25.
- RODRIGUEZ, E.J. y A. VALDIVIEZO, 1970. Informe sobre los resultados de la investigación geológica semiregional (perfiles y plano geológico) en el área de las manifestaciones nucleares de Sierra Pintada. Inédito. Comisión Nacional de Energía Atómica, informe interno, Buenos Aires.
- SALVARREDI, J.A., en prep. Tesis doctoral, Universidad de San Juan.
- SAULNIER, M., M. GAMBA y L. KLEIMAN, 1969. Mineralogía y geoquímica del Sector Tigre I, Yacimiento de uranio Dr Baulies-Los Reyunos, Mendoza. En: SCHALAMUK, I.B.A., M.K. de BRODTKORB y H.A. LEANZA, (Ed.) Procesos Metalogénicos. Serie Correlación Geológica N°3: 149-168. San Miguel de Tucumán.
- SRUOGA, P., 1990. Propuesta de clasificación de vulcanitas silíceas. Actas, XI Congreso Geológico Argentino, San Juan, I: 141-144.
- SRUOGA, P. y E.J. LLAMBIAS, 1992. Permo-Triassic leucorhyolitic ignimbrites at Sierra de Lihue Calel, La Pampa Province, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 5: 141-152.
- TREUIL, M., 1985. A global geochemical model of uranium distribution and concentration in volcanic rock series. En: Uranium Deposits in Volcanic Rocks Proceedings, El Paso, Texas 53-68. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.
- VALENCIO, D.A., J. MENDIA y J.F. VILAS, 1975. Paleomagnetism and K/Ar ages of Triassic igneous rocks from

the Ischigualasto-Ischichuca Basin and Puesto Viejo Formation, Argentina. *Earth and Planetary Science Letters* 26 (3): 319-330.

VILAS, J.F.A. y D.A. VALENCIO, 1982. Implicancias geodinámicas de los resultados paleomagnéticos de formaciones asignadas al Paleozoico Tardío- Mesozoico Temprano del Centro-Oeste argentino. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas III: 743-758. Buenos Aires.

VILLIERAS, F., 1987. L'uranium dans le secteur de la Sierra Pintada. Le bloc de San Rafael., inédito, Rapport de stage DEA, Université de Nancy I.

WARK, D.A., 1991. Oligocene ash flow volcanism, northern Sierra Madre Occidental: Role of mafic and intermediate-composition magmas in rhyolite genesis. *Journal of Geophysical Research* 96 (BB) 13389-13411.

WENRICH, K.J., 1985. Geochemical characteristics of uranium enriched volcanic rocks. En: *Uranium Deposits in Volcanic Rocks Proceedings*, El Paso, Texas 29-52. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena.

ZHAOBO, C., 1981. "Double mixing" genetic models of uranium deposits in volcanic rocks and the relationship between China's mesozoic vein-type uranium deposits and Pacific plate tectonics. En: *Metallogenesis of Uranium, proceedings from the section 13.2.2.*, 269 Congreso Geológico Internacional, Paris: 163-187, Geoinstitut, Belgrado.

Cuadro 1: Análisis modal (% volumen) de las igniabritas permo-triásicas.

	Cuarzo	Plag. FK	Biot.	Anf.	Lit. acc.	Lit. sus.	Pómez	Pasta
Sección Inferior	10-18	25-35	2-8	2-10	0,1-28	0,1-12	0,5-20	25-40
Sección Superior	12-19	<10	10-20	<3	<3	<5	<5	20-30
Triásico	2-8	<3	5-9	<5		<1		15-20
								55-70

FK: sanidina, Plag.: plagioclasa, Biot.: biotita, Anf.: anfíbol.  
 Lit. acc.: líticos accesorios, Lit. sus.: líticos del sustrato.

Cuadro 2: Elementos mayoritarios (% peso) y trazas (ppm) de muestras selectas

Muestra	S. Inferior 178/85	S. Superior 79/88	Triásico 142/91
SiO <sub>2</sub>	69,71	76,04	77,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,47	12,30	11,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,55	0,95	1,16
FeO	0,22	1,64	0,10
MnO	0,04	0,03	0,02
MgO	0,26	0,11	0,18
CaO	2,54	0,72	0,66
Na <sub>2</sub> O	3,83	2,88	2,59
K <sub>2</sub> O	2,98	4,67	4,54
TiO <sub>2</sub>	0,45	0,12	0,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,02	0,03
H <sub>2</sub> O+	0,88	0,25	0,89
H <sub>2</sub> O-	0,74	0,26	0,52
CO <sub>2</sub>	1,26		0,60
U total	2,07	3,30	5,70
U lábil		1,30	1,80
Th	6,70	10,00	21,00
Rb	82	148	338
Sr	691	37	19
Ba	852	117	29
Nb	5	15	44
Zr	84	122	173
Y	12,43	29	112
La	26,12	25,81	28,50
Ce	51,99	59,96	95,70
Nd	25,84	30,23	39,40
Sm	4,72	7,20	13,32
Eu	1,21	0,50	0,30
Gd	3,28	6,16	14,00
Dy	2,07	5,14	17,89
Er	1,03	2,54	9,09
Yb	1,06	2,90	10,66
Lu	0,15	0,42	1,53

Cuadro 3: Cantidad de uranio lixiviable calculado con los datos de trazas de fisión (Villieras, 1987) para las ignimbritas de la Sección Inferior.

Muestra	U total (ppm)	U mesostasis (ppm)	% mesostasis	Contribución % de la mesostasis	Contribución % de las otras fases	g/m <sup>3</sup> de roca
191/85 (den=2,34)	2,26	2,1	41,8	39 (0,88 ppm)	61	2,06
282/85 (den=2,36)	0,85	0,34	36,8	14,5 (0,12 ppm)	85,5	0,28
285/85 (den=2,35)	1,04	0,48	36,3	16,8 (0,17 ppm)	83,2	0,40

Cuadro 4: Cantidad de uranio lixiviable calculado con los datos de uranio lábil para las ignimbritas permo-triásicas.

	U total (ppm)	U lábil (ppm)	Contribución % del U lábil al U total	g/m <sup>3</sup> de roca
Sección Inferior den=2,35 n=30	x=1,31 s <sub>i</sub> =0,6	x=0,82 s <sub>i</sub> =0,11	63	1,93
Sección Superior y Triásico den=2,30 n=13	x=3,57 s <sub>i</sub> =1,46	x=1,13 s <sub>i</sub> =0,28	32	2,60

Leyenda de las figuras.

Figura 1: Distribución de los afloramientos de la Sección Inferior, Sección Superior y triásicos en el sector norte y central del Bloque de San Rafael. El mapa fue modificado de Moreno y Salvarredí (1984), y se muestran sólo algunos lineamientos principales.

Figura 2: Diagrama de  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{K}/\text{Rb}$  para las ignimbritas permotriásicas. Nótese la separación en 3 grupos bien definidos y la superposición de las 3 muestras triásicas.

Figura 3: Diagrama normalizado de tierras raras y elementos traza para 3 muestras representativas. Las tierras raras están normalizadas a la condrita Leedy, los demás elementos a basaltos de dorsal oceánica, los valores fueron tomados de Kay y Hubbard (1978). Nótese el empobrecimiento relativo en tierras raras pesadas y la inexistencia de una anomalía de Eu en la muestra de la Sección inferior.

Figura 4: Diagrama de U total vs Th para las ignimbritas permo-triásicas. La relación  $\text{Th}/\text{U} = 3$ , es la considerada magmática normal. Se considera que las muestras a la izquierda de esa línea han perdido uranio.

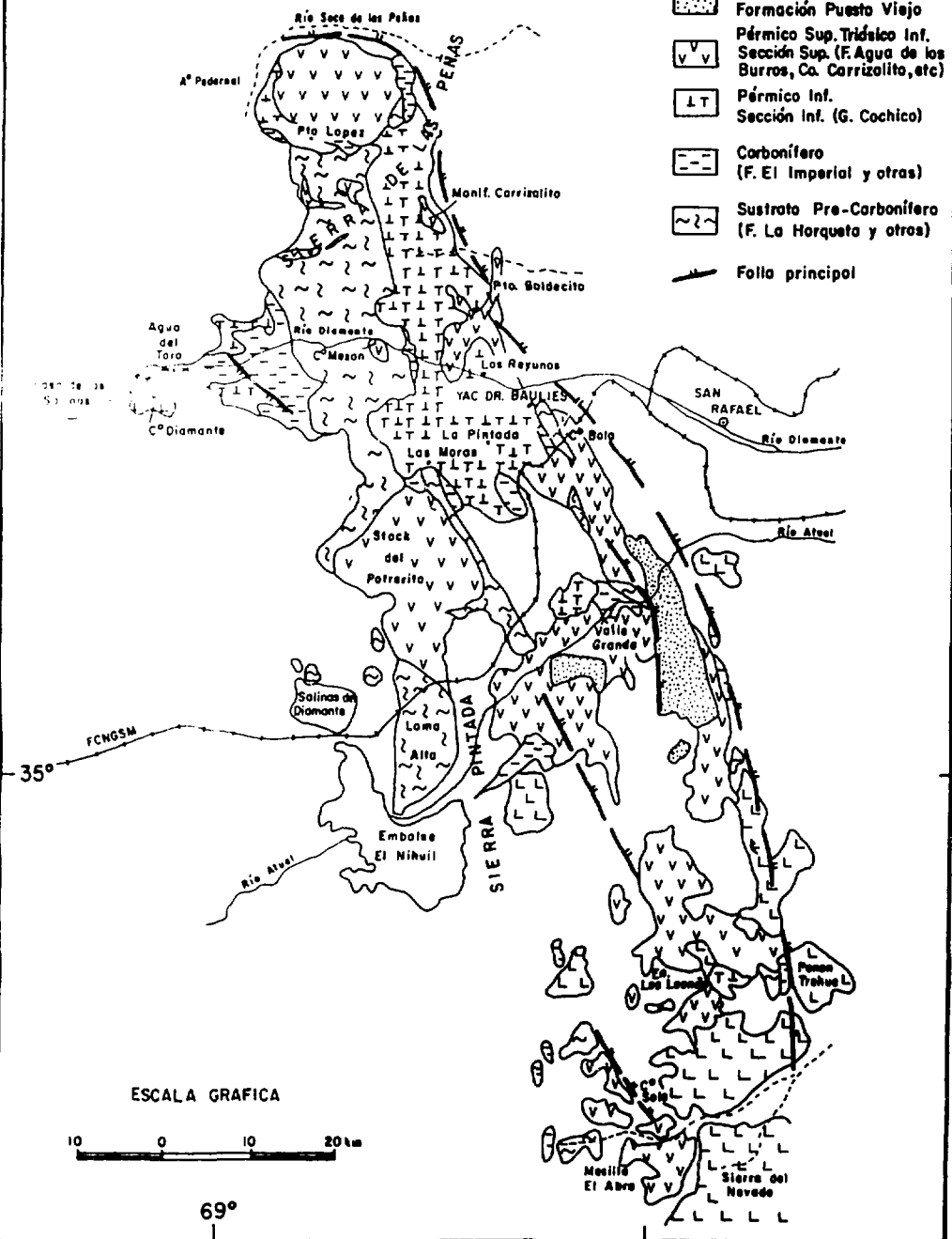
Figura 5: Las ignimbritas permotriásicas en el diagrama de  $\text{Nb}+\text{Y}$  vs  $\text{Rb}$  de Pearce et al (1984). VAG=granito de arco volcánico; WFG=granito de intraplaca; syn-COLG=Granito sincolisional; ORG=Granito de dorsal oceánica. Nótese la clara separación de los 3 grupos de rocas estudiados.

Figura 6: Diagrama  $\text{R}_1\text{-R}_2$  de De La Roche (1980). Los símbolos son iguales a los de la figura anterior. Nótese que las rocas de la Sección Inferior se superponen con el campo de las rocas de la Puna Argentina y Bolivia (línea punteada), consideradas desfavorables como roca fuente de uranio, mientras que las rocas de la Sección Superior y triásicas coinciden con el campo de las ignimbritas de Peña Blanca, Méjico (línea cortada), consideradas como rocas favorables. Estos campos fueron tomados de Leroy y George-Aniel, 1992.

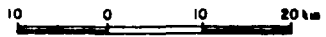
Figura 7: Diagrama de U total vs U lábil para las ignimbritas permotriásicas. La pendiente de las líneas de correlación muestran que el U es mas fácilmente removible de las ignimbritas de la Sección Inferior.

Depresión  
de los  
Huarpes

- Vulcanitas Cenozoicas
- Sedimentitas Cenozoicas
- Triásico  
Formación Puesto Viejo
- Pérmico Sup. Triásico Inf.  
Sección Sup. (F. Agua de los  
Burros, Ca. Carrizalito, etc)
- Pérmico Inf.  
Sección Inf. (G. Cochico)
- Carbonífero  
(F. El Imperial y otras)
- Sustrato Pre-Carbonífero  
(F. La Horqueta y otros)
- Folia principal



ESCALA GRAFICA



69°

Fig. 1  
K...  
1-10-5

Fig. 2A C

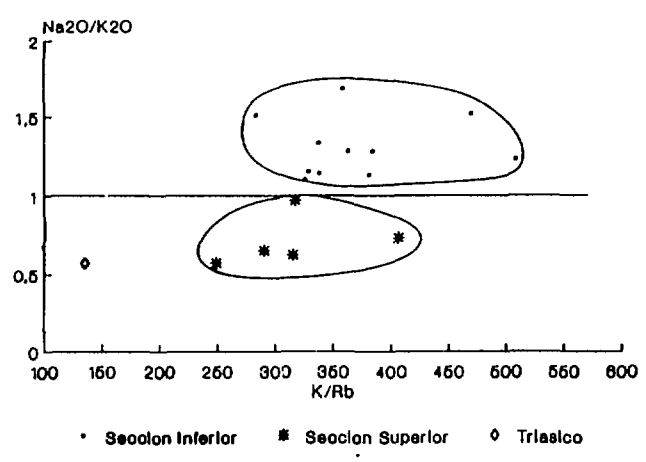
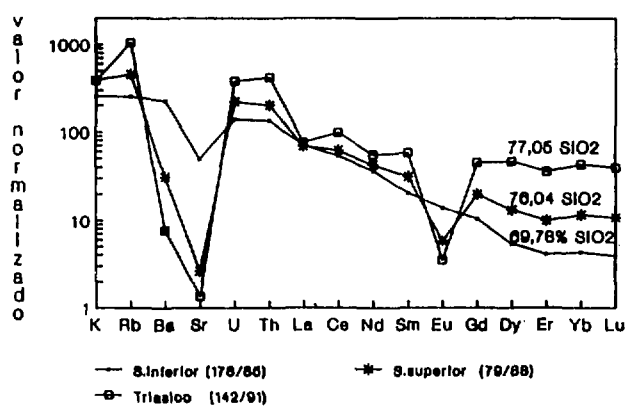


Fig. 2B C



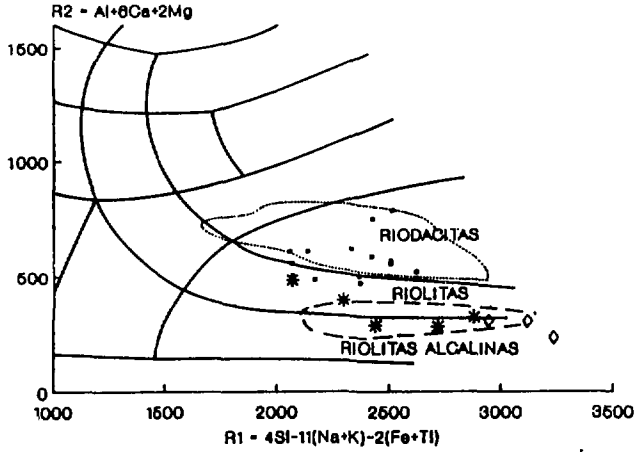
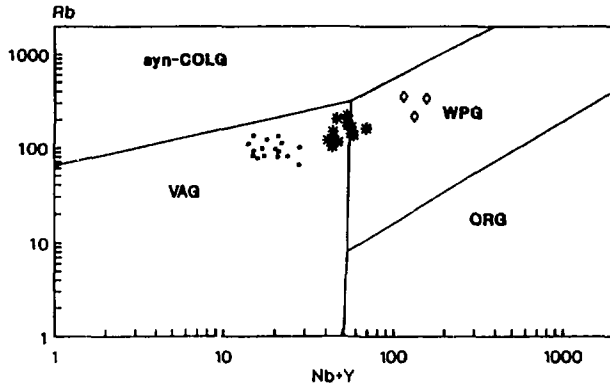


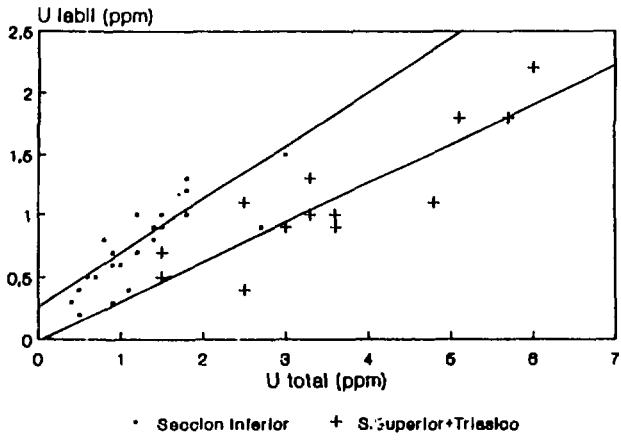
Fig. 2.16



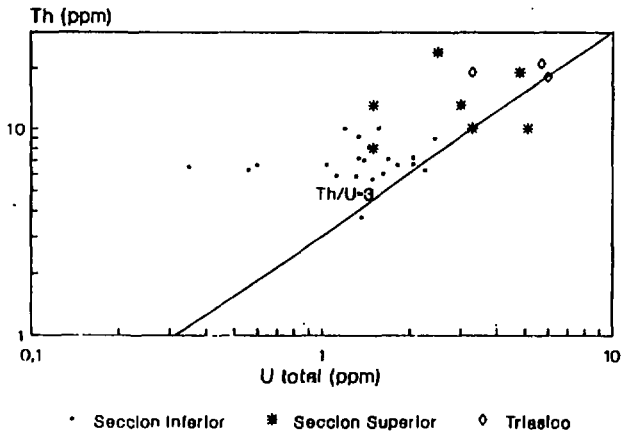
• Sección Inferior \* Sección Superior ◊ Triásico

Fig. 2.17





716-112



730172