

# Geología Minera del Complejo Minero Fabril San Rafael con énfasis en la caracterización de acopios de mineral marginal

Aldonate, M. Daniela<sup>1</sup>; Ávila, Julio C.<sup>2</sup>; Gallucci, Ángel R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, San Miguel de Tucumán, Argentina.  
daniela\_aldonate@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Miguel Lillo 205, San Miguel de Tucumán, Argentina.  
jcavila@csnat.unt.edu.ar

<sup>3</sup> Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, Mendoza.  
argallucci@gmail.com

► **Resumen** — “Geología Minera del Complejo Minero Fabril San Rafael con énfasis en la caracterización de acopios de mineral marginal”. El Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) está localizado en la provincia de Mendoza, en el Distrito Uranífero Sierra Pintada y dentro de la unidad morfoestructural Bloque de San Rafael.

En el mismo se encuentra el yacimiento uranífero “Doctor Bauliés – Los Reyunos”, de tipo volcánico-clástico, donde las principales concentraciones están alojadas en la Formación Los Reyunos de edad pérmica inferior.

En esta contribución se ha dado prioridad al estudio de dos acopios (Sector XI – Sector XIV) de posible mineral marginal del CMFSR, cuyo estudio tiene por objeto determinar los recursos minerales de estos acopios, ya que se los considera como recurso mineral de uranio para un eventual tratamiento futuro.

Los resultados obtenidos fueron para el Sector XI: volumen 14.444,7 m<sup>3</sup>, ley scintilométrica promedio de 172 g/t de U y ley química promedio 210 g/t de U y para el Sector XIV: volumen 12.845,4 m<sup>3</sup>, ley scintilométrica promedio de 229 g/t de U y ley química promedio de 383 g/t de U.

**Palabras clave:** Complejo Minero Fabril San Rafael, Mineral Marginal, Uranio, Geología Minera.

► **Abstract** — “Mining Geology of Complejo Minero Fabril San Rafael with emphasis in the characterization of marginal ore stockpiles”. Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) is located in the province of Mendoza, in the Uranium District Sierra Pintada, and within morphostructural unit Bloque de San Rafael.

In the same area you can find the Doctor Bauliés – Los Reyunos uranium deposit volcanic type where the main concentrations are contained in the Los Reyunos Formation which is of lower permian age.

The study of two stockpiles (Sector XI – Sector XIV) has been given priority to determine the aims of the mineral resource stockpiles which are considered as uranium mineral resources for a possible future treatment.

The results for Sector XI were: Volume 14.444,7 m<sup>3</sup>, average scintilométrica grade of 172 g/t of U and average chemistry grade 210 g/t of U. Sector XIV: Volume 12.845,4 m<sup>3</sup>, average scintilométrica grade 229 g/t of U and average chemistry grade 383 g/t of U.

**Keywords:** Complejo Minero Fabril San Rafael, Marginal Ore, Uranium, Mining Geology.

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a un sector del CMFSR ubicado en la provincia de Mendoza, Departamento de San Rafael, Distrito Cuadro Benegas, entre las coordenadas

geográficas 34°40'18" y 34°37'08" de latitud sur y 68°37'50" y 68°34'40" de longitud oeste (Figura 1). La actividad de este complejo estuvo basada en la explotación del yacimiento Doctor Bauliés-Los Reyunos, concentración del mineral y en la obtención como producto final de un concentrado de uranio como diuranato de amonio.

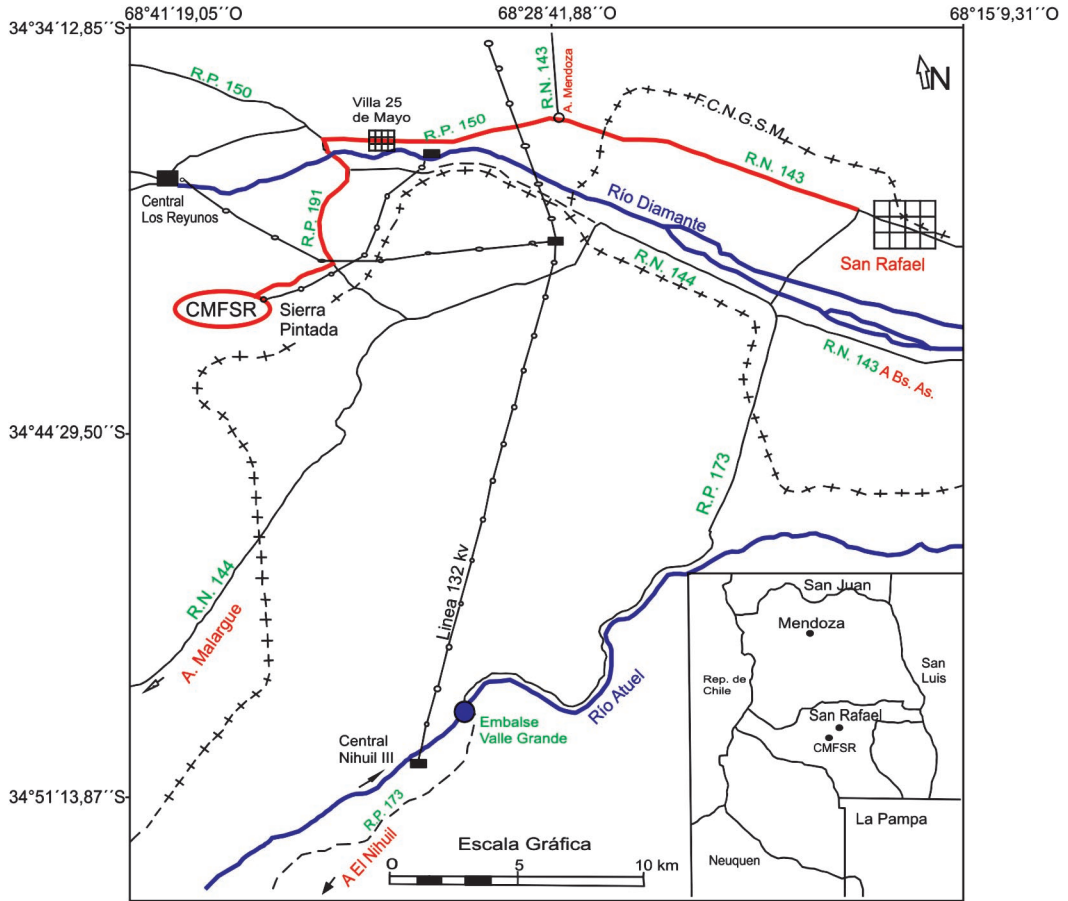


Figura 1. Ubicación del Complejo Minero Fabril San Rafael.

El sitio produjo 1.600 t de uranio (tU) desde 1976 hasta 1997, con una planta de producción de concentrado de uranio de 120 t anuales (Navarra y Aldebert, 2005).

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) lo considera como el más importante yacimiento del país, en cuanto a sus recursos minerales y producción acumulada hasta la actualidad. Se estima que los recursos minerales del complejo alcanzan aproximadamente 2.500 tU para ser explotados a cielo abierto; existen además recursos minerales que pueden explotarse por métodos subterráneos, obteniendo así un total de 4.500 tU (Navarra y Aldebert, 2005).

MARCO GEOLÓGICO DEL DISTRITO

La unidad más antigua que aflora en el área corresponde a la Formación La Horqueta de edad pre-devónica, litológicamente compuesta por filitas, esquistos y metacuarzitas.

La Formación El Imperial de edad carbonífera superior está constituida por cuarcitas y areniscas cuarzo-feldespáticas grises intercaladas con lutitas y limolitas oscuras (Saulnier *et al.*, 1989).

En discordancia, se ubica el Grupo Cochicó de edad pérmica inferior representado por Formación Los Reyunos y Formación Arroyo Punta del Agua. Dentro de la primera se destacan los Miembros Toba Vieja Gorda y Areniscas Atigradas, roca fuente y hués-

ped del uranio respectivamente (Saulnier *et al.*, 1989).

La Formación Cerro Carrizalito (Pérmico Superior – Triásico Inferior), está representada por intrusiones ácidas (riolitas), emplazadas en zonas de fracturas (Lardone, 1984).

El Pleistoceno está representado por lavas basálticas y depósitos piroclásticos correspondiente a la Formación Maipo. Depósitos clásticos completan la columna estratigráfica (Figura 2) (Salvarredi, 1999).

#### YACIMIENTO

El yacimiento está emplazado en el Miembro Areniscas Atigradas de la Formación Los Reyunos. Las areniscas están compuestas por cuarzo, en general monocristalino, feldspatos, fragmentos líticos, biotita, muscovita, óxidos de titanio, apatita y circon (Saulnier *et al.*, 1989).

El mismo se encuentra localizado en el flanco occidental de una estructura de plegamiento conocida como Braquianticinal del Tigre, con rumbo N 25°O y 15 km de extensión (Costa y Cisneros, 2004). Presenta un sistema de fallas directas transversales al eje de la estructura, que delimitan bloques inclinados y elevados de tamaños y formas diversas, con desplazamiento de la mineralización. Estos bloques fueron caracterizados como sectores mineralizados denominados Tigre I, Tigre III, La Terraza y Los Gauchos (Costa y Cisneros, 2004).

La mineralización se aloja, en el tercio superior del Miembro Areniscas Atigradas, en un sector de 20 a 30 m de espesor, que se ubica 10 m por debajo del contacto con el Miembro Toba Vieja Gorda. El cuerpo mineralizado superior es el principal y se extiende unos 4.000 m en sentido norte-sur y 600 m en sentido este-oeste (Salvarredi, 1999).

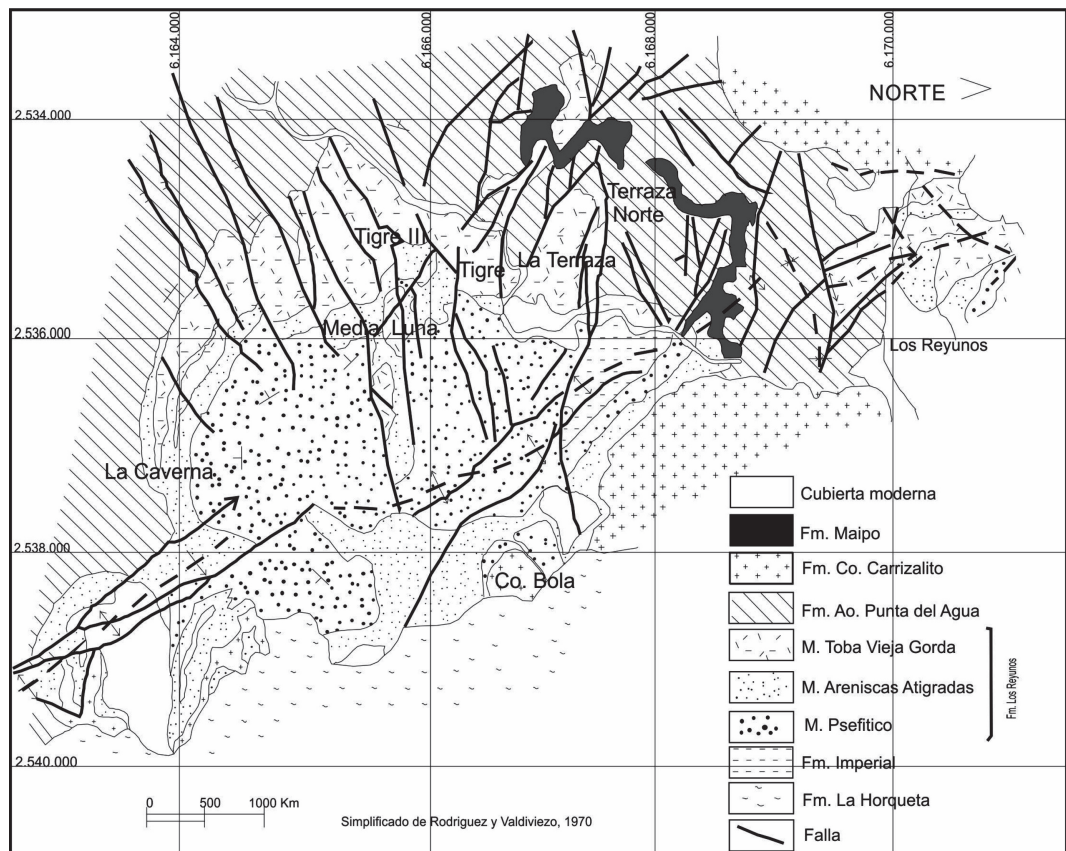


Figura 2. Mapa Geológico Regional del Distrito Sierra Pintada.

Un segundo cuerpo mineralizado se localiza cerca del piso del Miembro Areniscas Atigradas, y está a 30 m por debajo del principal y en algunas zonas se superponen. Este cuerpo se extiende 800 m en dirección norte-sur y 400 m en dirección este-oeste. Los espesores varían desde centímetros en los

bordes hasta 25 m en la zona de máximo espesor (Salvarredi, 1999).

La mineralización es de tipo lenticular, peneconcordante con la estratificación, con tendencia a formar dentro de un mismo cuerpo mineral lentes de enriquecimiento. Los lentes uraníferos están separados por

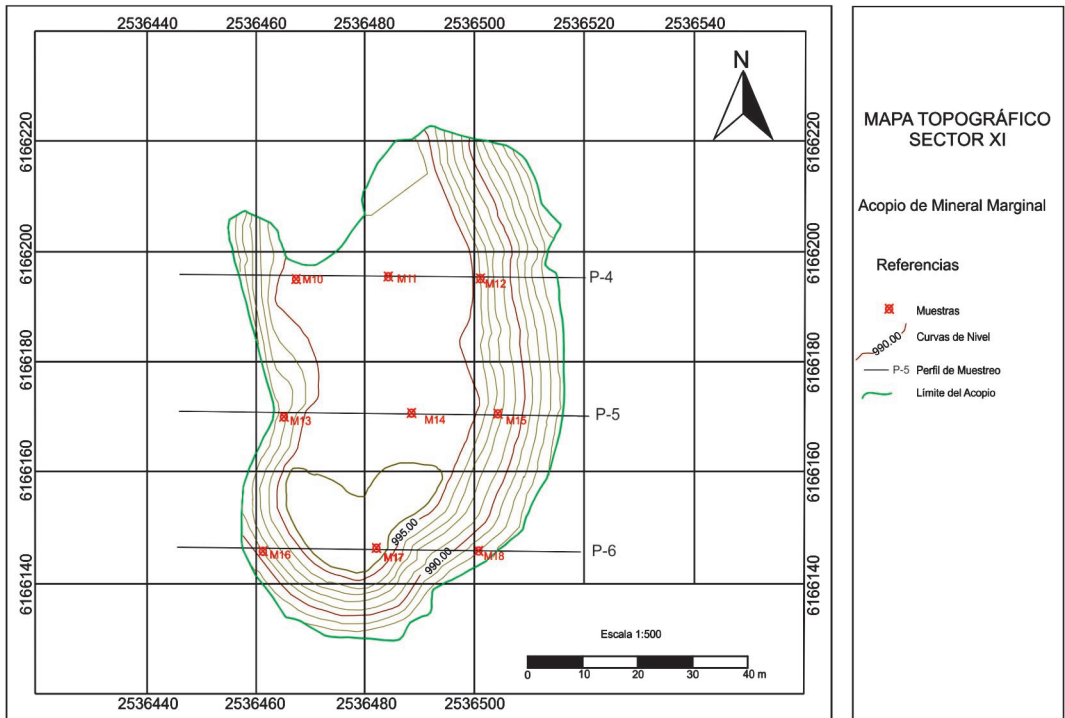
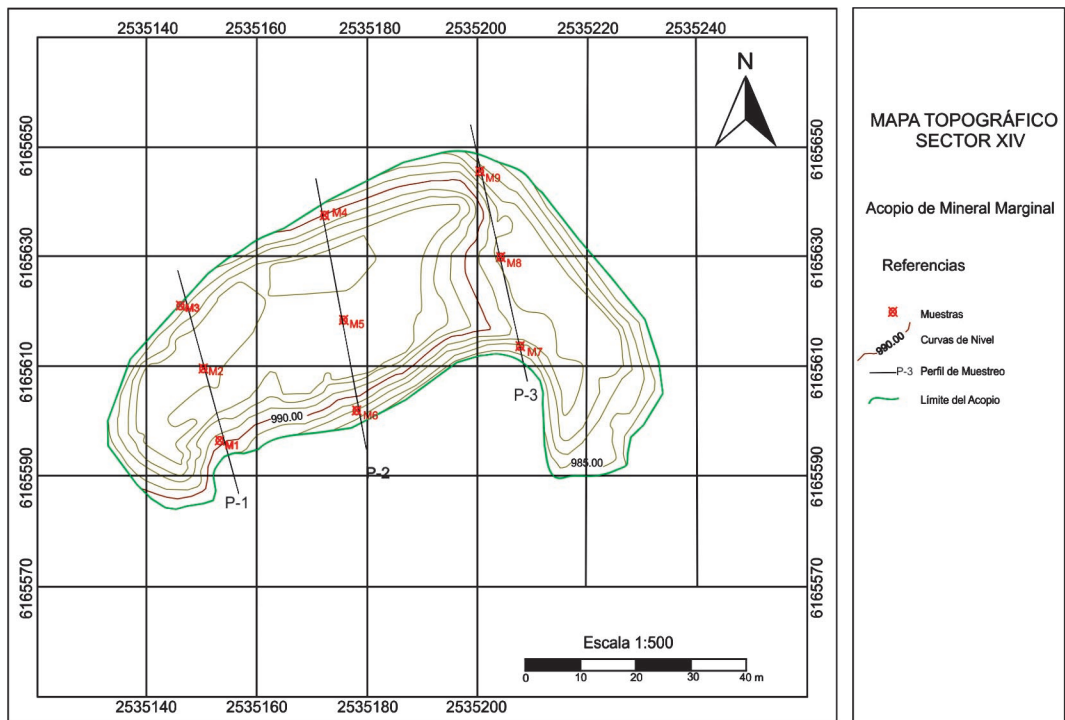


Figura 3. a) Mapa Topográfico del Sector XI. b) Fotomontaje resaltando una sección del Sector XI, con vista al Norte.

sectores estériles o semiestériles en las áreas de mayor importancia. Presentan una morfología elongada en sentido del rumbo de las capas (Salvarredi, 1999).

La roca portadora de la mineralización tiene rumbo N-S y buzamiento que varía entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$  O (Salvarredi, 1999). Los mine-

rales primarios en las areniscas son uraninita ( $\text{UO}_2$ ), brannerita  $[(\text{U}, \text{Ca}, \text{Y}, \text{Ce})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6]$  y coffinita  $[\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}]$  (Salvarredi, 1999).



**Figura 4.** a) Mapa Topográfico del Sector XIV. b) Fotomontaje resaltando vista lateral del Sector XIV.

### EXPLOTACIÓN

La explotación realizada fue a cielo abierto, se adoptó esta metodología considerando las características morfológicas y su localización próxima a la superficie. El sistema de explotación consistía en el arranque de estéril y mineral, mediante perforaciones y voladuras con explosivos, en bancos de 10 m de altura para el material estéril y 2,5 m de altura para el mineral, con desarrollo paralelo al rumbo de la mineralización y con avances según el buzamiento. Los bancos tenían un ángulo de talud de aproximadamente 75° y un ángulo de talud final de aproximadamente 35°.

Fundamentalmente los procesos que se llevaron a cabo para la concentración del mineral consistían en la preparación física del mineral (trituración), lixiviación ácida del mineral en pilas, captación del uranio del lixiviado mediante resinas de intercambio iónico, elución de las resinas con solución ácida de nitrato de amonio y posterior precipitación con amoníaco para obtener el concentrado de uranio.

### METODOLOGÍA

En este trabajo se ha dado especial importancia a los acopios de mineral marginal correspondientes a los Sectores XI y XIV ubicados dentro del complejo.

A los fines de conocer el volumen ocupado por el mineral marginal y su contenido en uranio, se realizó un relevamiento topográfico, mediante el método de triangulación, utilizando como instrumento una estación total y como accesorios, prismas. Una vez que se realizaron las mediciones correspondientes, se descargaron los datos almacenados en la memoria interna de la estación total en la computadora, empleando un programa específico denominado AutoCAD Civil 3D, por medio del cual se obtuvo un mapa topográfico (Figuras 3a-4a) y el volumen de cada sector.

Para el cálculo del contenido de uranio se efectuó un muestreo radimétrico, el cual consistió, debido a las dimensiones que presentan los acopios, en trazar 3 perfiles transversales al eje mayor de cada acopio, obteniendo de cada perfil 3 muestras equidistantes ubicadas en los extremos y medio de los mismos, alcanzando un total de 18 muestras. El peso de cada muestra es de aproximadamente 800 gramos, en cada una de ellas se midió la radiactividad, mediante la utilización de un scintilómetro SRAT-SPP2 (Tabla 1).

El funcionamiento del scintilómetro está basado en el efecto de fluorescencia que se produce cuando la energía de la radiación de corta longitud de onda es absorbida por un cristal y emitida como radiación de mayor longitud de onda (luz visible), es decir que cuando las radiaciones gamma atraviesan a un cristal de Ioduro de Sodio (NaI), activado con Talio (Tl), genera una liberación de electrones en dicho cristal que al chocar unos con otros producen una liberación de energía en forma lumínica. Por medio de este fenómeno se puede determinar cuántos impactos de radiación gamma se producen por segundo de tiempo (c/s).

El funcionamiento del scintilómetro está basado en el efecto de fluorescencia que se produce cuando la energía de la radiación de corta longitud de onda es absorbida por un cristal y emitida como radiación de mayor longitud de onda (luz visible), es decir que cuando las radiaciones gamma atraviesan a un cristal de Ioduro de Sodio (NaI), activado con Talio (Tl), genera una liberación de electrones en dicho cristal que al chocar unos con otros producen una liberación de energía en forma lumínica. Por medio de este fenómeno se puede determinar cuántos impactos de radiación gamma se producen por segundo de tiempo (c/s).

### MINERAL MARGINAL

El mineral marginal es aquel mineral de baja ley, considerado transitoriamente no apto para su tratamiento y concentración por aspectos económicos. Dicho mineral sale de bocamina y es acopiado por separado, ya que la recuperación del mismo dependerá de la situación del mercado de uranio y de la implementación de nuevas técnicas de tratamiento mineral.

Se incluye como mineral marginal a las areniscas del Miembro Areniscas Atigradas, las cuales presentan un contenido de uranio de 170-339 ppm  $U_3O_8$  (CNEA-CMFSR, Informe Inédito).

El volumen de mineral marginal dispuesto en el Sector XI corresponde a 14.444,7 m<sup>3</sup> y de 12.845,4 m<sup>3</sup> en el Sector XIV. Conforme a estos datos y a la densidad de la roca, 1,8 t/m<sup>3</sup> (CNEA-CMFSR, Informe Inédito) se puede calcular el tonelaje de cada sector, para el sector XI se obtiene un valor de 26.000,5 t y para el sector XIV de 23.121,7 t.

Se calcula una ley scintilométrica promedio transformando los valores en c/s (obtenidos a partir del scintilómetro) a ppm, median-

**Tabla 1 a-b.** Contenido de uranio de las muestras extraídas de los acopios.

<b>a</b> Sector XIV			
	Nº de muestra	Valores en cuentas por segundo	Valores en ppm
Perfil nº 1	1	550	190
	2	500	160
	3	1000	360
Perfil nº 2	4	680	230
	5	600	210
	6	800	280
Perfil nº 3	7	800	280
	8	490	150
	9	580	200

<b>b</b> Sector XI			
	Nº de muestra	Valores en cuentas por segundo	Valores en ppm
Perfil nº 1	1	550	190
	2	500	160
	3	1000	360
Perfil nº 2	4	680	230
	5	600	210
	6	800	280
Perfil nº 3	7	800	280
	8	490	150
	9	580	200

te una recta de correspondencia diseñada para cada tipo de instrumento. Para el Sector XI se obtiene una ley de 172 g/t de U y para el Sector XIV, una ley de 229 g/t de U.

#### GEOQUÍMICA

##### DEL MINERAL MARGINAL

Se realizaron análisis químicos de 6 muestras, siendo cada una de ellas obtenidas del compuesto de las 3 muestras recolectadas en cada perfil (Tabla 2).

En cuanto a los valores obtenidos (Tabla 3) en las primeras determinaciones se observa que no hay un desequilibrio radiactivo, es

decir que existe una relación entre la radiactividad de la serie del  $U_{238}$  y la concentración de U químico total (U natural).

Los valores de óxidos presentes en las muestras coinciden con los de las Areniscas Atigradas (Saulnier *et al.*, 1989) portadora de los minerales de uranio, destacándose como mineral de uranio la brannerita (U,Ca,Y,Ce) (Ti, Fe)<sub>2</sub> O<sub>6</sub>.

Con los contenidos de uranio químico total, se determinó una ley química promedio de 210 g/t de U para el Sector XI y para el Sector XIV una ley química promedio de 383 g/t de U.

**Tabla 2.** Métodos aplicados para determinar dichos elementos.

Elemento	Método
U Radimétrico	Radiometría Beta Total, equipo EDA
U Químico Total	Absorción Molecular con DiBenzoilMetano (DBM)
SiO <sub>2</sub> y Pérdida por calcinación.	Gravimetría.
TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Absorción molecular.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, MnO, SrO, ZnO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Zn, Mn, Sr.	Absorción Atómica, equipo Perkin Elmer Analyst 200.
Ra226	Rushing modificado, equipo Canberra

**Tabla 3.** Resultados analíticos de las muestras extraídas de los acopios.

Elementos	Unidades	Muestra Perfil n°1	Muestra Perfil n°2	Muestra Perfil n°3	Muestra Perfil n°4	Muestra Perfil n°5	Muestra Perfil n°6
U Radimétrico- $\beta$ total	ppm U	360	450	450	250	220	340
U Químico Total	ppm U	340	380	430	190	170	270
SiO <sub>2</sub>	%	65,80	65,90	65,60	65,40	65,70	65,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	14,70	14,50	14,60	13,90	13,70	13,80
Fe total <sup>1</sup>	%	2,20	2,30	2,10	2,20	2,30	2,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10
CaO	%	3,60	3,50	3,60	3,70	3,50	3,50
MgO	%	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40
MnO	%	0,09	0,07	0,05	0,09	0,05	0,06
SrO	%	0,06	0,05	0,06	0,08	0,06	0,07
ZnO	%	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na <sub>2</sub> O	%	4,45	4,60	4,40	4,10	4,20	4,60
K <sub>2</sub> O	%	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,30
TiO <sub>2</sub>	%	0,29	0,28	0,29	0,27	0,26	0,26
Perdida por calcinación <sup>2</sup>	%	5,60	4,80	5,00	5,60	5,70	4,90
Ra 226	pCi/g(pico curio/gramos)	----	----	----	65	----	----

Fe total expresado en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Cabe destacar que la pérdida por calcinación es una medida indicativa de la concentración (en nuestro caso se indica en porcentaje %) de carbonatos de calcio en las areniscas, ya que al hacer dicha determinación (pérdida por calcinación) se produce la siguiente reacción:  $\text{CaCO}_3 + \text{calor } 850^\circ \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2(\text{g})$

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el reconocimiento geológico-económico realizado en el Complejo se pudo evidenciar que las rocas portadoras de uranio corresponden al Miembro Areniscas Atigradas de la Formación Los Reyunos.

Asimismo se observó que la roca hospedante presentaba una marcada diferencia en su coloración. Correspondiendo la tonalidad más oscura a zonas de mayor concentración mineral. Esta premisa coincide con lo descrito por Kleiman (1983).

En cuanto al mineral de estudio, mineral marginal, se expone que el mismo pertenece al producto de explotación minera del Miembro Areniscas Atigradas y se atribuye como principal mineral de uranio la branerita.

Conforme a los datos geoquímicos obtenidos es posible determinar una ley química promedio de 210 g/t de U para el Sector XI y para el Sector XIV una ley de 383 g/t de U.

Con respecto a la información obtenida del relevamiento topográfico se determinó un volumen de 14.444,7 m<sup>3</sup> para el Sector XI y para el Sector XIV un volumen de 12.845,4 m<sup>3</sup>. A partir de estos datos se calculó el tonelaje de cada uno: para el Sector XI de 26.000,5 t y para el Sector XIV de 23.121,7 t.

En base al muestro radimétrico realizado se determinó una ley scintilométrica para el Sector XI de 172 g/t de U y para el Sector XIV de 229 g/t de U.

De los datos analizados se puede concluir que la ley mineral de ambos acopios supera la ley establecida de corte y en consecuencia, son considerados dentro de los recursos de mineral marginal.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal profesional y técnico del CMFSR, en especial al Lic. Diéguez y al Lic. Meza, por su colabo-



**ración brindada durante las tareas de campo, asimismo agradecemos a la dirección de la CNEA Regional Cuyo por el apoyo prestado para la ejecución de dicho trabajo.**

#### BIBLIOGRAFÍA

- Costa, C. H. y Cisneros, H. A. 2004. Revisión de la información geológico- estructural del área del Complejo Minero Fabril San Rafael. Anexo 3-4. Informe Inédito. 31 p. Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Kleiman, L. E. 1983. Cambios de color del Miembro Areniscas Atigradas y su relación con la mineralización uranífera. Yacimiento Dr. Baulies-Los Reyunos. San Rafael. Mendoza. Informe Inédito. P. Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Lardone, L. E. 1984. Variaciones litofaciales de los miembros Areniscas Atigradas y Toba Vieja Gorda en el área del Yacimiento Doctor Baulies, Sierra Pintada, Mendoza. IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche. Actas I: 260-269.
- Navarra, P. R. y Aldebert, S. 2005. Actualidad del Complejo Minero Fabril San Rafael, provincia de Mendoza. Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Año V: 5-8.
- Rodríguez, E. J. y Valdiviezo, A. 1970. Informe sobre los resultados de la investigación geológica semiregional (perfiles y plano geológico) en el área de las manifestaciones nucleares de Sierra Pintada, Comisión Nacional de Energía Atómica. Informe Inédito. 44 p. Buenos Aires.
- Salvarredi, J. A. 1999. Yacimiento Doctor Baulies y otros depósitos del distrito uranífero Sierra Pintada, Mendoza. Recursos Minerales de la República Argentina, (Ed. E.O Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales Segemar, Anales 35: 895-906. Buenos Aires.
- Saulnier, M.; Gamba, M. y Kleiman, L. 1989. Minerología y Geoquímica del Sector Tigre I, Yacimiento de uranio Doctor Baulies - Los Reyunos, Mendoza. En Procesos Metalogénicos. Serie Correlación Geológica 3: 149-168.