

CONTROL ESTRUCTURAL EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MINERALIZACIONES DE URANIO DEL CICLO CHOIYOI, BLOQUE DE SAN RAFAEL, MENDOZA

María S. JAPAS¹, Julio A. SALVARREDI² y Laura E. KLEIMAN³

¹ CONICET - Universidad de Buenos Aires, FCEyN, Pabellón II, Ciudad Universitaria, C1428EHA, Buenos Aires. Email: msjapas@gl.fcen.uba.ar.

² Comisión Nacional de Energía Atómica, Delegación Regional Cuyo, Azopardo 313, 5501 Godoy Cruz, Prov. de Mendoza. Email: juliosalvarredi@cneacuyo.gov.ar.

³ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza, Unidad de Actividad de Geología, Av. Pbro. J. González de Aragón 15, B1802AYA, Ezeiza, Prov. de Buenos Aires. Email: kleiman@cae.cnea.gov.ar.

RESUMEN

Las mineralizaciones más importantes del distrito uranífero Sierra Pintada (Bloque de San Rafael, Mendoza) se asocian a las rocas pertenecientes al ciclo magmático Choiyoi. En la sección inferior de este ciclo predominan los yacimientos alojados en areniscas de origen epiclástico. En la sección superior, en cambio, se encuentran pequeñas mineralizaciones vetiformes de escasa importancia económica. Durante el emplazamiento y la acumulación de estas volcanitas y sedimentitas pérmicas prevalecieron dos regímenes de esfuerzo diferentes: transpresional (fase orogénica San Rafael) y transtensional (etapa postorogénica), los cuales condicionaron los sistemas mineralizantes. Mediante un estudio de fábrica deformacional se evaluó el grado de control ejercido por las estructuras sobre la distribución de las mineralizaciones de uranio durante estas dos etapas de deformación. De esta forma, se intenta aportar nuevos conocimientos sobre la génesis de estos depósitos en la provincia magmática Choiyoi y generar nuevas guías de exploración. A través de este análisis se pudieron definir tres órdenes de magnitud en el control estructural sobre los depósitos asociados al ciclo Choiyoi inferior, cuyo desarrollo fue condicionado por la fábrica de la fase orogénica sanrafaélica. En el caso de las mineralizaciones alojadas en rocas de la sección superior del ciclo Choiyoi, el campo transtensional post-sanrafaélico ejerció un control, directo o indirecto, durante el proceso mineralizante.

Palabras clave: *San Rafael, Pérmico, Choiyoi, Fábrica deformacional, Control estructural, Yacimientos.*

ABSTRACT: *Structural control on the distribution of uranium mineralizations of the Choiyoi cycle, San Rafael Massif, Mendoza.*

The main mineralizations of the Sierra Pintada uranium district, San Rafael Massif, Mendoza, are associated with the Choiyoi volcanic province. In the lower section of this magmatic cycle uranium deposits hosted by epiclastic sandstones are predominant. In the upper section, small vein-type deposits of low economic significance are found instead. During the emplacement of these Permian volcanic and sedimentary sequences two different stress regimes, which conditioned the mineralizing systems, were dominant: transpressional (San Rafael orogenic phase) and transtensional (post-orogenic stage). A strain fabric analyses was performed in an attempt to evaluate the control exerted by the structures in the distribution of the uranium mineralizations during these two stages of deformation. So that, a contribution to a better understanding of the genesis of these deposits will aid to the generation of new exploration guides for uranium in the Choiyoi province. In the case of the deposits related to the lower Choiyoi, three orders of magnitude could be defined for the structural control. The fabric of the structures determining the distribution of these mineralizations reflects the structural grain of the San Rafael orogeny. The deposition of uranium hosted by the upper Choiyoi sequences was directly or indirectly influenced by the structures generated under the post-sanrafaelic stress field.

Keywords: *San Rafael, Permian, Choiyoi, Strain fabric, Structural control, Mineralizations.*

INTRODUCCIÓN

La formación de un yacimiento mineral es un evento complejo que requiere de la convergencia de varias circunstancias. Uno de los factores clave es el sistema de transporte de los fluidos mineralizantes

el cual localiza a la mineralización tanto en el espacio como en el tiempo (Blundell 2002). En el caso de los yacimientos de tipo vetiforme así como en los de origen sedimentario, el control que ejercen las estructuras durante los procesos de mineralización es un factor determinan-

te. En los primeros, las fracturas suelen ser los canales de circulación de los fluidos y los espacios en los que se produce la precipitación, ya sea por pérdida de presión o por algún otro proceso. En los yacimientos sedimentarios estratoligados, las estructuras pueden tener influen-

cia en la circulación de los acuíferos dentro de una cuenca: por ejemplo, las estructuras de plegamiento suelen ser trampas en las que se alojan las menas. A través de las fracturas se produce también la removilización y la redepositación de las menas en consiguientes etapas de mineralización.

Las mineralizaciones estudiadas se encuentran en el bloque de San Rafael, Mendoza, (Distrito uranífero Sierra Pintada). Tanto en el ciclo Choiyoi inferior, en el cual predominan los yacimientos alojados en areniscas de origen epiclástico, como en el Choiyoi superior, en el cual se encuentran pequeñas mineralizaciones vetiformes, la estructura parece haber condicionado el emplazamiento de las mismas.

El miembro areniscas atigradas de la Formación Yacimiento Los Reyunos (Grupo Cochicó, Choiyoi inferior) es portador del yacimiento Dr. Baulies-Los Reyunos, el cual constituye hasta la fecha la principal explotación uranífera del país. Las características del mismo fueron descritas en varios trabajos previos (Lardone y Giordano 1984, Saulnier *et al.* 1989, Lardone *et al.* 1993, Salvarredi 1999). Asimismo, existen numerosos cuerpos de menor importancia económica alojados en varios sectores de la cuenca pérmica. Por otra parte, las ignimbritas de la Formación Agua de los Burros, los basaltos de la Formación Quebrada del Pimiento y las riolitas de la Formación Cerro Carrizalito (sección superior del ciclo Choiyoi) alojan mineralizaciones vetiformes de escasa importancia económica, las cuales fueron descritas por Salvarredi (1999), Salvarredi y Kleiman (2001) y Kleiman (2002), entre otros.

Las volcanitas y sedimentitas del ciclo Choiyoi inferior y de la Formación Agua de los Burros fueron depositadas sintectónicamente con la etapa transpresiva relacionada con la fase orogénica San Rafael durante el Pérmico temprano, mientras que aquéllas correspondientes al Choiyoi superior (excluida la Formación Agua de los Burros) fueron emplazadas durante la etapa transtensiva postorogé-

nica subsiguiente (Japas y Kleiman 2004). El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar el grado de control que ejercieron en la distribución de las mineralizaciones de uranio las estructuras relacionadas con estas dos etapas de deformación que afectaron al ciclo magmático Choiyoi durante el Pérmico. Esto aportará nuevos conocimientos sobre la génesis de las mismas así como nuevas guías de exploración.

MARCO GEOLÓGICO

El bloque de San Rafael (BSR en Fig. 1) constituye una provincia geológica precordillerana localizada entre los 34° y los 36° de latitud Sur. En esta región, las volcanitas del ciclo Choiyoi apoyan en discordancia angular y erosiva sobre un basamento proterozoico tardío, eopaleozoico y carbonífero-eopérmico.

La sección inferior de este ciclo magmático se encuentra integrada por los pórfiros mesosilíceos del cerro Agua de las Yeguas y por las sedimentitas y volcanitas del Grupo Cochicó (Dessanti 1956). Rodríguez y Valdiviezo (1970) dividieron a este grupo en dos formaciones: Yacimiento Los Reyunos y Arroyo Punta del Agua, ambas unidades integradas por niveles conglomerádicos y psamíticos, interdigitados con grandes volúmenes de ignimbritas y brechas volcánicas de composición predominantemente dacítica y andesítica. Durante el Pérmico temprano en esta región se habrían desarrollado dos cuencas de dirección general aproximada N-S (actual), separadas por una dorsal central, denominadas cuencas oriental y occidental. Estas cuencas estaban asociadas al arco magmático de edad pérmica que se emplazaba en el margen proto-pacífico del Gondwana. En las mismas se depositaron las rocas pertenecientes al Grupo Cochicó, las cuales fueron posteriormente deformadas durante la etapa tardía de la fase orogénica San Rafael.

La Formación Yacimiento Los Reyunos fue descrita de forma detallada recientemente (Kleiman 2005 y referencias cita-

das en ese trabajo). Está integrada por cuatro miembros que se interdigitan lateralmente: psefítico, andesítico, areniscas atigradas y Toba Vieja Gorda. El primero está compuesto por fanglomerados, cenoglomerados y conglomerados polimícticos con abundantes clastos que alcanzan tamaño de bloque, provenientes de las rocas del sustrato.

Entre las unidades de enfriamiento de las ignimbritas del Miembro Toba Vieja Gorda se intercalan las brechas andesíticas estratificadas del miembro andesítico, las que en general, son redepositos del tipo flujo de detritos.

El miembro areniscas atigradas está compuesto por areniscas cuarzo-feldespáticas y cuarzo-lítico-feldespáticas de granulometría mediana a gruesa, con algunas intercalaciones de grano más fino. Son depósitos de origen eólico (Spalletti y Mazzoni 1972). La roca fuente principal de estos depósitos son las piroclastitas del Miembro Toba Vieja Gorda. Según el contenido de hematita, cloritas y limonita, presentan colores blancos, rojizos, verdes y rosados. Constituye la roca portadora del yacimiento Dr. Baulies-Los Reyunos.

El Miembro Toba Vieja Gorda está conformado por depósitos de ignimbritas (flujos de cenizas y pómez). Los afloramientos de estas ignimbritas presentan a distancia un aspecto masivo, con una parte basal que forma lomadas redondeadas y menos erosionadas, y una parte superior, más soldada, más disectada y con disyunción columnar frecuente. El color es gris o rojo, con decoloraciones en las zonas diaclasadas.

Las volcanitas tanto de la Formación Yacimiento Los Reyunos como las de Arroyo Punta del Agua son calcoalcalinas y presentan características típicas de un ambiente de arco magmático (Llambías *et al.* 1993, Kleiman 1993, 1999).

La sección superior del ciclo Choiyoi (Llambías *et al.* 1993, Kleiman 1993, 1999) se dispone en relación de discordancia angular, y localmente erosiva, sobre las rocas infrayacentes. Está compuesta principalmente por ignimbritas,

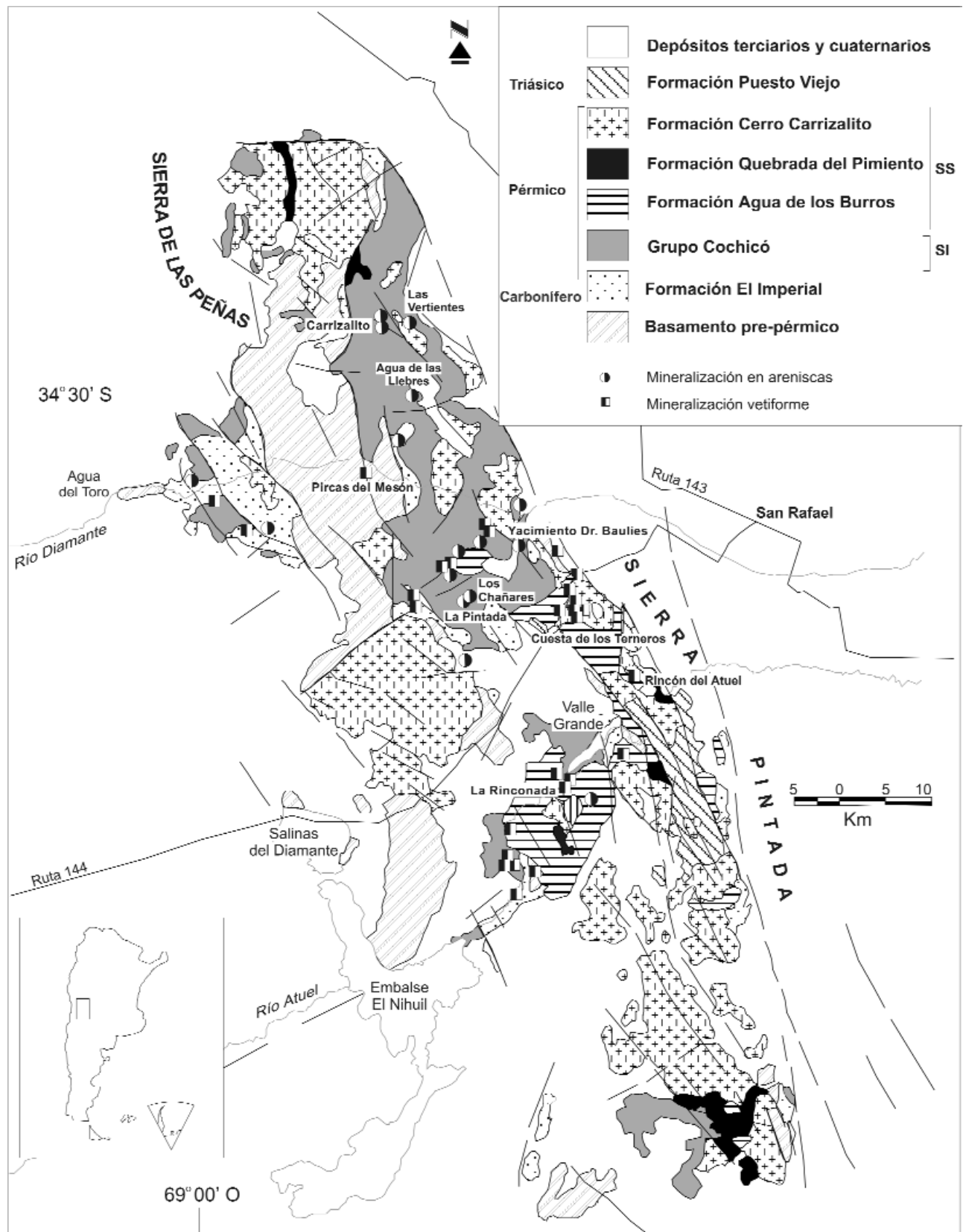


Figura 1: Manifestaciones uraníferas reconocidas en el área (adaptado de Belluco 1981). Los círculos señalan la localización de anomalías en areniscas; los cuadrados corresponden a manifestaciones vetiformes. SI: sección inferior, SS: sección superior del ciclo Choiyoi.

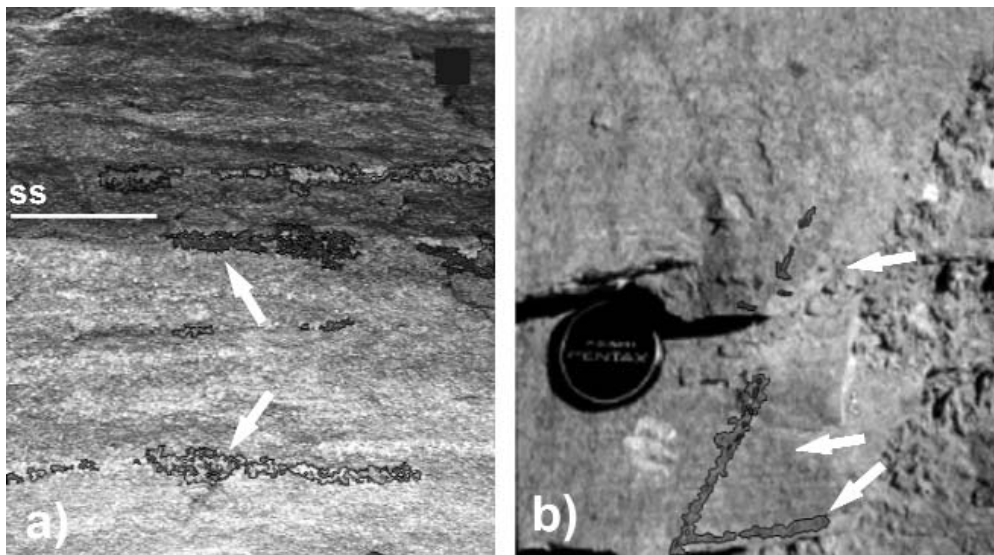
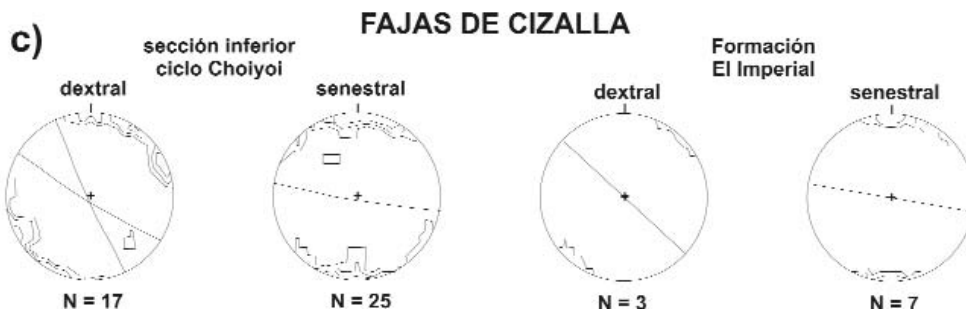


Figura 2: a) Mineralización de uranio siguiendo los planos de estratificación (misma escala de la fotografía siguiente). ss: estratificación. b) Mineralización de uranio rellenando fracturas oblicuas a la estratificación. c) Diagramas estadísticos de las fajas de deformación relevadas en el área del yacimiento Dr. Baulies - Los Reyunos. Hemisferio inferior de representación (modificado de Japas y Kleiman 2004).



cuerpos subvolcánicos y lavas de composición ácida, con algunas intercalaciones de rocas andesíticas y comprende a las formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito (González Díaz 1972). La mayor parte de esta secuencia fue emplazada durante la etapa extensional que siguió a la fase orogénica sanrafaélica y presenta características geoquímicas transicionales entre un ambiente de arco magmático y uno de intraplaca, que culmina con el *rift* triásico. En discordancia angular o erosiva yacen los depósitos sedimentarios y volcánicos triásicos de la Formación Puesto Viejo (González Díaz 1972). Volcanitas y sedimentitas miocenas y posteriores cubren en discordancia angular a las rocas paleozoicas completando la columna estratigráfica de la región.

DISTRIBUCIÓN DE LAS MINERALIZACIONES

Las mineralizaciones uraníferas en el Blo-

que de San Rafael se encuentran mayoritariamente restringidas al flanco oriental de la sierra de las Peñas y al tramo norte de la sierra Pintada (Fig. 1) en el sector correspondiente a la cuenca pérmica oriental. El mapa de distribución de las anomalías (modificado de Belluco 1981) muestra que las mismas predominan en la región comprendida entre el río Diamante y el yacimiento Dr. Baulies - Los Reyunos, y en el área aledaña al río Atuel (Fig. 1). En la cuenca pérmica occidental los afloramientos son escasos, observándose sólo algunas anomalías relacionadas al Grupo Cochicó.

a) Mineralizaciones asociadas a la sección inferior del ciclo Choiyoi

Las mineralizaciones correspondientes a esta sección se albergan en el miembro areniscas atigradas de la Formación Yacimiento Los Reyunos. Los minerales principales son uraninita, brannerita y cofinita con algunos sulfuros asociados (Saulnier *et al.* 1989). La roca fuente de

uranio serían las ignimbritas del Miembro Toba Vieja Gorda de la Formación Yacimiento Los Reyunos y posiblemente aunque en menor medida, las areniscas del miembro areniscas atigradas. La mineralización primaria es concordante con la estratificación y se relaciona con el transporte y depositación a partir de acuíferos. Existe una segunda etapa de removilización del uranio, el cual es depositado en fracturas que atraviesan los niveles de enriquecimiento primario. La mineralización se asocia a la presencia de pirita, clorita, materia orgánica y carbonatos que cementan las areniscas y tapizan fracturas (Ferreira 1982, Saulnier *et al.* 1989).

El yacimiento Dr. Baulies - Los Reyunos constituye la principal explotación de uranio en el bloque de San Rafael y en el país (Figs. 1 y 2a). Los niveles de mineralización primaria aparecen en esta zona cortados por diques de la Formación Quebrada del Pimiento, dando testimonio de la edad pérmica temprana de la

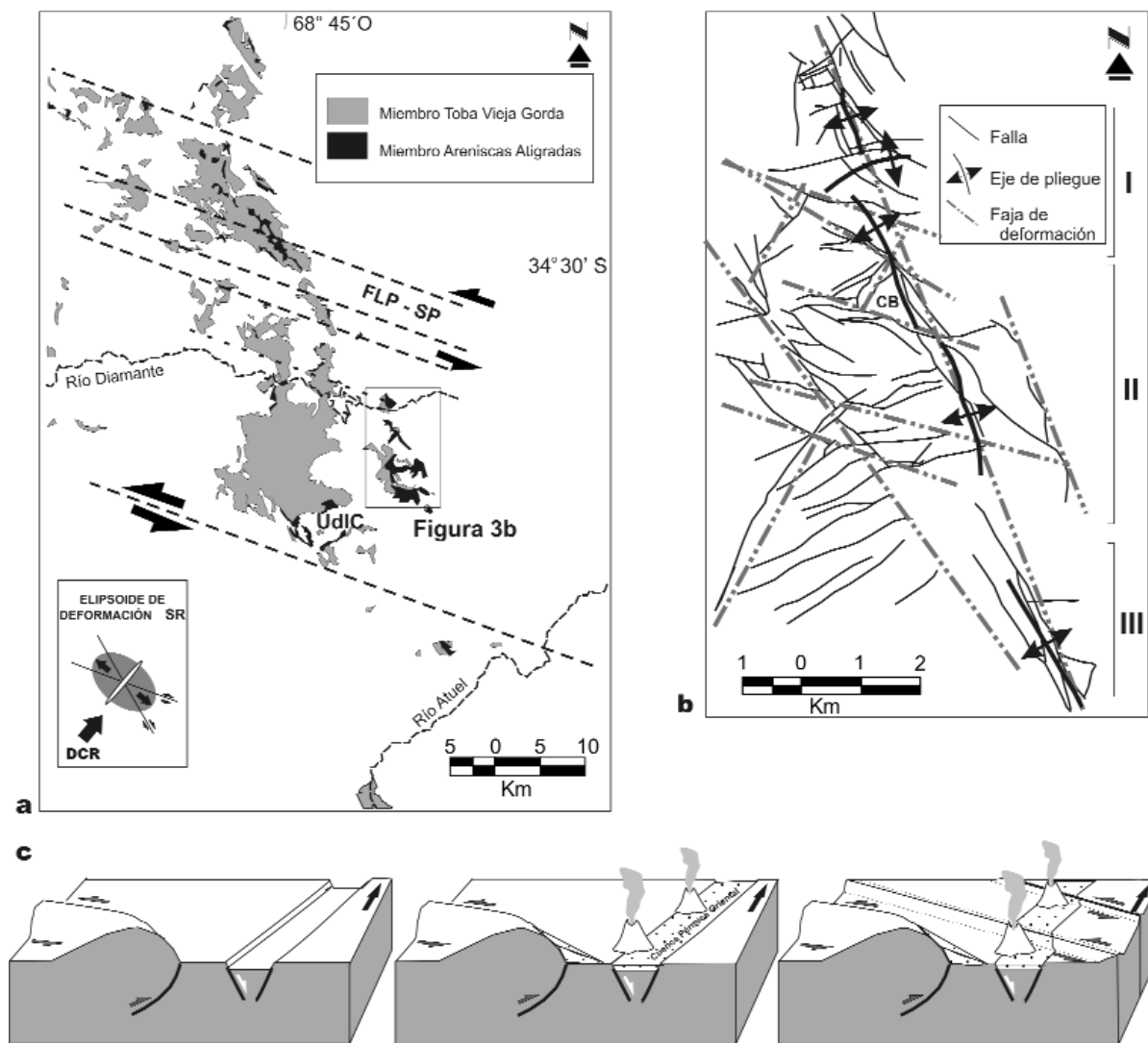


Figura 3: a) Mapa de afloramientos de las Areniscas Atigradas y de la Toba Vieja Gorda (Fm Yacimiento Los Reyunos). Modificado de Salvarredi (1984). Nótese cómo las fajas de mayor deformación generan una distorsión de los afloramientos NNE, generando afloramientos regionales NNO a N-S. UdIC: Umbral de los Caballos. En el recuadro inferior se esquematizan las estructuras relacionadas a la Orogenia Sanrafaélica (SR) en relación a la elipse de deformación (DCR: Dirección de contracción regional). b) Fábrica deformacional en el área del yacimiento Dr. Baulies - Los Reyunos (base de Lardone y Giordano 1984). Nótese cómo las direcciones NNE aparecen desplazadas por las fajas ONO. Las fajas ONO parecen superponerse a las fajas NNO. CB: cerro Blanco. c) *Block* diagrama esquematizando la evolución paleogeográfica durante el emplazamiento de la sección inferior del ciclo Choiyoi.

misma. Este yacimiento se encuentra alojado en una estructura de plegamiento conocida como braquianticlinal de El Tigre (Fig. 3b). Existen además manifestaciones como Carrizalito-Las Vertientes, Agua de las Liebres y, en el borde de cuenca, Los Chañares, La Ollada, La Pintada y Los Reyunos, entre otras (Fig. 1).

b) Mineralizaciones asociadas a la sección superior del ciclo Choiyoi

Las mineralizaciones de Pircas del Mesón, La Rinconada, Rincón del Atuel y

Cuesta de los Terneros (Fig. 1) están relacionadas genéticamente con las rocas volcánicas de la sección superior del ciclo Choiyoi (Salvarredi 1999). Todas ellas son vetiformes y se asocian con zonas de alteración que contienen sulfuros. Las anomalías de uranio se alojan en rocas de las Formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito (Fig. 4a). En el primer caso, se localizan donde cuerpos subvolcánicos de las Formaciones Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito intruyen a tobas de la

Formación Agua de los Burros poniendo en evidencia que su génesis se relacionaría con el emplazamiento de la Formación Cerro Carrizalito, ya que las rocas de la Formación Quebrada del Pimiento no aportan uranio.

El origen de estas mineralizaciones es debatible porque los laboreos estuvieron limitados a la zona de oxidación. Salvarredi (1999) propuso las siguientes hipótesis: a) el uranio fue lixiviado de las volcánicas de la Formación Cerro Carrizalito y de la Formación Puesto Viejo y en su

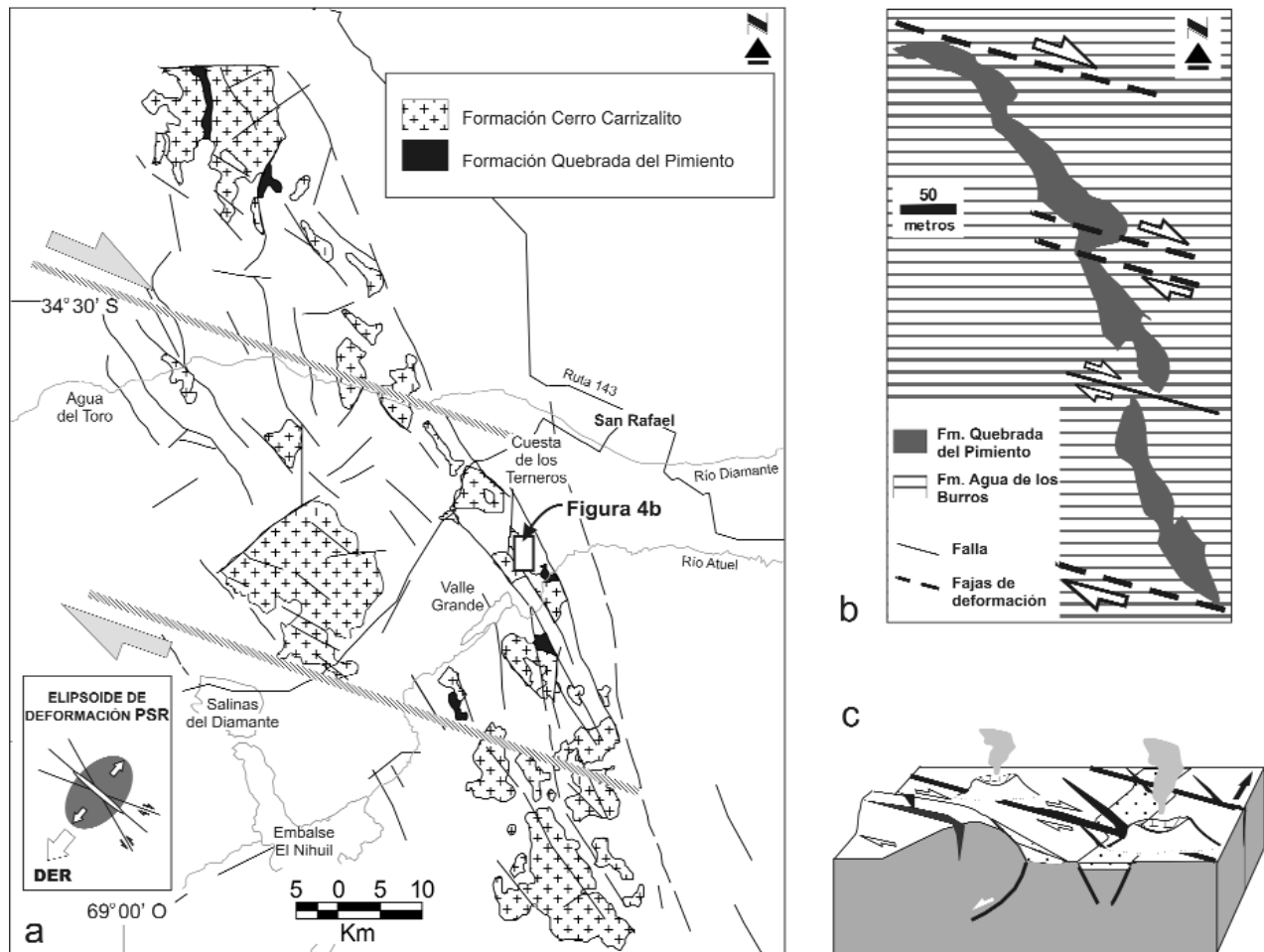


Figura 4: a) Mapa de afloramientos de las rocas correspondientes a las formaciones Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito de la sección superior del ciclo Choiyoi. Modificado de Salvarredi (1984). En el recuadro inferior se esquematizan las estructuras relacionadas a la etapa post-sanrafaélica (PSR) en relación a la elipse de deformación (DER: Dirección de extensión regional). Nótese el grano estructural post-sanrafaélico en el emplazamiento de estas unidades. b) Manifestación Rincón del Atuel (modificado de Dristas *et al.* 1978). c) *Block diagram* esquematizando la paleogeografía y el control estructural durante el emplazamiento de la sección superior del ciclo Choiyoi.

descenso y desplazamiento a través de la discordancia infratriásica, habría alcanzado a los depósitos vetiformes de sulfuros metálicos formados previamente y b) la mineralización se habría producido por celdas geotermales, desarrolladas durante la actividad volcánica de la Formación Cerro Carrizalito.

La manifestación uranífera Rincón del Atuel se encuentra a aproximadamente 25 km al SO de San Rafael, sobre la margen izquierda del río Atuel (Fig. 1). Esta anomalía se aloja en un dique andesítico de la Formación Quebrada del Pimiento que intruye a tobas de la Formación Agua de los Burros y es afectado por procesos de alteración hidrotermal de carácter ácido relacionados a cuerpos sub-

volcánicos de la Formación Cerro Carrizalito. Este dique presenta una orientación NNO (Prieto 1973 en Dristas *et al.* 1978, 1980, Salvarredi 1999, Kleiman 2002) (Fig. 4b). El mineral de uranio es metazeunerita (Dristas *et al.* 1978).

La manifestación Pircas del Mesón se ubica en el Mesón de las Picazas, sobre la margen derecha del río Diamante (Fig. 1). La mineralización está alojada en cuerpos subvolcánicos riolíticos de grano fino de la Formación. Cerro Carrizalito, equivalentes a las "riolitas con topacio y granate" de Los Reyunos (Kleiman 1999, 2002). Los minerales de uranio son metazeunerita y metatorbernita los cuales se encuentran tapizando fracturas posteriores a las fases de alteración principales.

Hay además, minerales de cobre y de plomo y pirita. La alteración micácea es la más conspicua, con la formación de micas blancas junto con aluminosilicatos y sílice. Además, la presencia de fluorita y turmalina sugiere un alto contenido de F y de B (Kleiman 2002).

La manifestación La Rinconada se encuentra a 4 km al oeste de Valle Grande (Fig. 1). El depósito está albergado en una falla de rumbo N-S en la cual se emplazaron diques andesíticos de la Formación Quebrada del Pimiento y posteriormente, riolitas de la Formación Cerro Carrizalito. La roca de caja de estas intrusiones corresponde a tobas brechosas y brechas de la Formación Agua de los Burros. Hay alteración argílica y silícea,

en la cual se aloja la mineralización de uranio asociada a pirita. Hay además calcita, jarosita, goethita y fluorita (Salvarredi 1999).

La manifestación Cuesta de los Terneros se ubica a 32 km al OSO de San Rafael, y constituye el primer depósito uranífero hallado en la región. La mineralización está localizada en una brecha en el contacto del cuerpo subvolcánico riolítico del cerro de los Terneros (Formación Cerro Carrizalito) con ignimbritas de la Formación Agua de los Burros. Los minerales de mena son uraninita, uranofano, schroëckingerita - autunita, y como minerales asociados se encuentran óxidos de hierro y manganeso, ópalo, yeso y calcedonia (Romero 1959 en Salvarredi y Kleiman 2001).

ESTRUCTURA

La fábrica deformacional del Choiyoi inferior (Grupo Cochicó) y de la Formación Agua de los Burros refleja la transpresión asociada a la Fase Orogénica San Rafael y se compone básicamente de arreglos de estructuras compresionales NO, tensionales NE y transpresionales tanto ONO senestrales como NNO dextrales (Japas y Kleiman 2004).

El distrito minero yacimiento Dr. Bauliés-Los Reyunos se encuentra en una estructura de plegamiento mayor (braquianticlinal de El Tigre), cuyo eje principal presenta una orientación NNO, y puede ser interpretada como una estructura de crecimiento (véase Moreno Peral y Salvarredi 1984). Contiene varios cuerpos mineralizados de geometría lenticular distribuidos en las Areniscas Atigradas. Estos cuerpos se encuentran afectados por fallas normales de orientación ENE, desarrolladas durante la Fase Sanrafaélica, las cuales suelen hallarse mineralizadas (Fig. 3b).

Las estructuras menores y la fábrica deformacional revelan un grano estructural sanrafaélico (Figs. 2b y 3b). Tanto en el área del yacimiento, como en sectores aledaños al mismo, puede apreciarse el predominio de fajas de deformación

ONO de carácter transpresivo senestral, las cuales tienen correlato regional (véanse Figs. 2b, 3a y 3b). En la figura 3b se han representado las estructuras principales que afectan a las rocas aflorantes en el área del yacimiento Dr. Bauliés - Los Reyunos. Las fallas transversales al braquianticlinal de El Tigre revelan la existencia de un régimen deformacional con participación de movimientos transcurrentes ya que las estructuras tensionales se orientan subperpendicularmente al eje del pliegue. El arreglo espacial de esta estructuración frágil en el área del yacimiento permite reconocer tres dominios diferentes. En el dominio II se observa una fábrica asociada a una faja de deformación ONO de carácter senestral. En los dominios I y II, en cambio, estas fajas presentan baja definición. Asimismo, pueden reconocerse dos fajas localizadas de orientación NNO, las cuales indican movimientos de transcurrencia dextral (Fig. 3b).

Los depósitos de uranio vetiformes alojados en rocas de la sección superior del Choiyoi están asociados a una estructuración tensional, la cual se vincularía con la etapa de relajación mecánica post-orogénica (véanse Japas y Kleiman 2004, Japas *et al.* 2006a y b). Las estructuras mayores (NNO, ONO, NS y en menor medida ENE) controlaron el emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos e ignimbriticos de las formaciones Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito, condicionando la localización de las mineralizaciones albergadas en estas unidades a las direcciones referidas.

DISCUSIÓN

En la distribución de las mineralizaciones de uranio alojadas en areniscas, además de la estructura, deben considerarse otros factores tales como la porosidad y permeabilidad de las sedimentitas y la paleogeografía de la cuenca. El patrón de circulación de las soluciones mineralizantes y la posición de los enriquecimientos dentro de la cuenca se encontrarían condicionados por la forma de la cubeta, la

cual es controlada por la estructura (Ferreyra 1982). De esta manera, la distribución de las anomalías dependerá en gran medida de las estructuras regionales.

Sobre la base de la disminución de espesores y tamaño de clastos de los conglomerados del miembro psefítico (Formación Yacimiento Los Reyunos), aflorante en el borde occidental de la cuenca pérmica oriental, se interpreta, para el Pérmico temprano, la existencia de un cordón montañoso de orientación submeridional con una altura que decrecía desde el sur hacia el norte (dorsal central). De esta forma se podría inferir que la pendiente regional de los valles oriental y occidental inclinaba desde el sur hacia el norte. Los conglomerados basales de la Formación Agua de los Burros, en cambio, indican que la dorsal oriental (cerro Bola) fue más elevada que la dorsal central para el tiempo de la depositación de esta unidad. Esto podría haber generado excorrentías semirregionales y locales de orientación E-O. La presencia de corrientes de orientación ONO en el sector SO del yacimiento (Japas y Kleiman 2004) avala también la existencia de un umbral importante denominado Alto del cerro de los Caballos por Pérez y Solís (1984) (Fig. 3c). Varios otros umbrales han sido definidos para la cuenca pérmica oriental, la cual presenta para el tiempo de la depositación del miembro areniscas atigradas de la Formación Yacimiento Los Reyunos un perfil asimétrico con el faldeo oeste menos empinado y más desarrollado (véase Pérez y Solís 1984).

En términos generales, los umbrales suelen limitar la circulación de los acuíferos y a su vez, en los casos en que las soluciones estén enriquecidas en uranio, pueden favorecer la concentración de la menas (Ferreyra 1982). De esta manera Pérez y Solís (1984) explican que la manifestación Agua de las Liebres se localice asociada al umbral principal, La Pintada al alto estructural del cerro de los Caballos y el anticlinal El Tigre al umbral o dorsal oriental.

La distribución de los afloramientos de

las rocas fuente (Toba Vieja Gorda) y portadora (miembro areniscas atigradas) (Fig. 3a) pone en evidencia la existencia de dos fajas de deformación principales de dirección ONO. Las mismas modifican localmente la orientación original (NNE) de las cuencas, imprimiendo al conjunto una aparente disposición NS. Estas fajas de deformación coinciden en términos generales con: a) notorios cambios en el espesor de las Areniscas Atigradas, b) escalones estructurales re-feridos a la superficie de contacto entre las Areniscas Atigradas y la Toba Vieja Gorda y c) resaltos paleotopográficos (véase Pérez y Solís 1984). La faja de deformación principal se corresponde con el alto del cerro de los Caballos (Fig. 3a). El ancho de esta faja es importante dado que se extiende en dirección norte hasta el sector austral del cerro Blanco (Fig. 1). Otra faja de deformación mayor se encuentra relacionada con el umbral Las Peñas - Sierra Pintada (Japas *et al.* 2006a) (Fig. 3a). Se puede reconocer una tercera faja que, con la misma orientación ONO, coincide con la traza del río Diamante (véase el mapa paleogeográfico de Pérez y Solís 1984). Estos autores describen además algunos umbrales internos de menor magnitud con orientaciones NNE, ONO y NS. El alineamiento meridional local de algunos de ellos, como así también el de los cuerpos mineralizados principales (Lardone y Giordano 1984), se relacionaría con la deformación superpuesta a partir de estas fajas transpresivas senestrales de rumbo ONO, tal como fuera mencionado para el caso de las cuencas. Esta situación de superposición a partir de la cual estructuras NNE presentan diseños de afloramiento NS a NNO se repite, a distintas escalas, en diferentes sectores del bloque de San Rafael y de la provincia magmática Choiyoi (Japas y Kleiman 2004).

En síntesis, durante la fase orogénica San Rafael, el volcanismo y la sedimentación habrían estado regulados por corredores extensionales NNE que determinaron la paleogeografía del bloque (Fig. 3c), constituyéndose así la estructura regional en

un factor de primer orden en el control de las mineralizaciones, al restringir arealmente la existencia de rocas favorables (fuente de uranio y portadoras). A escala menor la fase sanrafaélica también habría condicionado las áreas favorables dado que las mismas se relacionan con zonas de baja deformación: Las unidades sintectónicas pertenecientes al ciclo Choiyoi inferior, aflorantes al norte de la faja transpresional Las Peñas - Sierra Pintada de orientación ONO, no presentan anomalías de uranio importantes (Figs. 1b y 3a). Esto podría deberse a la generación de un umbral tectónico a lo largo de esta faja, el cual habría impedido la circulación de acuíferos enriquecidos en uranio desde el sector austral de la cuenca, ejerciendo esta estructura un control de segundo orden. A escala del yacimiento Dr. Baulies - Los Reyunos, tal como describieron Rodríguez y Valdiviezo (1970), el braquianticlinal de El Tigre habría condicionado también la depositación de los minerales de uranio, al haberse constituido en un umbral generador de una barrera para la migración de los fluidos produciendo una mayor concentración en el limbo occidental de la estructura (control de tercer orden).

Los cuerpos mineralizados alojados en las volcanitas de la sección superior del ciclo Choiyoi (formaciones Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito) comprenden vetas de orientación N-S, NNO-SSE y ONO en coincidencia con las estructuras extensionales que definen el grano estructural post-sanrafaélico (PSR, Japas y Kleiman 2004). Independientemente del hecho de que estas manifestaciones correspondan o no a mineralizaciones de origen primario, la fábrica (orientación y arreglo espacial, Figs. 4a y c) indica claramente una asociación con la deformación transtensional que afectó el bloque de San Rafael con posterioridad a la fase sanrafaélica y por lo tanto, remarca la importancia que revistió la estructura en el control del emplazamiento de los cuerpos ígneos que albergan las mineralizaciones uraníferas de la región. Aún cuando se verificara que el uranio fue lixivio-

do de las volcanitas de la Formación Cerro Carrizalito y de la Formación Puesto Viejo y alcanzó a los depósitos vetiformes de sulfuros metálicos formados previamente, el control ejercido por las estructuras post-sanrafaélicas habría sido indirecto aunque igualmente condicionante.

CONCLUSIONES

Durante el Pérmico la deformación condicionó el emplazamiento de las mineralizaciones de uranio en el bloque de San Rafael. Las estructuras transpresionales sanrafaélicas habrían controlado la paleogeografía y por ende la distribución de las mineralizaciones de uranio en areniscas pertenecientes a la sección inferior del ciclo Choiyoi durante el Pérmico temprano. El emplazamiento de las vetas portadoras de minerales de uranio asociado con sulfuros, las cuales están alojadas en volcanitas del ciclo Choiyoi superior (Pérmico tardío), habría estado gobernada por las estructuras transtensionales postsanrafaélicas.

La fábrica deformacional se constituye, de este modo, en una herramienta más del análisis metalogénico uranífero.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente mediante el subsidio SECYT (resolución 1473) para el Proyecto *El potencial minero nuclear y metalífero de las provincias riolíticas Choiyoi, en el bloque de San Rafael y Chon Aike en el macizo del Deseado*, con el apoyo de Fomicruz S.E. Se agradece a la Comisión Nacional de Energía Atómica por permitir la publicación de los resultados presentados. A los Dres. Nilda Urbina y Sergio Delpino por la lectura y correcciones al manuscrito presentado en ocasión de la XIIIª Reunión sobre Tectónica (San Luis, 2006). A los Dres. Laura Giambiagi y Raúl Giacosa por sus sugerencias y correcciones.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Belluco, A.E. 1981. La favorabilidad geológica-uranífera de la República Argentina y el distrito Sierra Pintada (Provincia de Mendoza). Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Anales 33: 241-282, Buenos Aires.
- Blundell, D.J. 2002. The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen: the geodynamic context. En Blundell, D.J., Neubauer, F., von Quadt, A. (eds.) The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen. Geological Society, Special Publications 202: 1-12, London.
- Dessanti, R.N. 1956. Descripción geológica de la Hoja 27c, Cerro Diamante, provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 85, 79 p., Buenos Aires.
- Dristas, A. J., Hayase, K., Prozzi, C. y Prieto, A. 1978. Estudio sobre la manifestación de uranio de Rincón del Atuel, Departamento de San Rafael, Provincia de Mendoza, República Argentina. Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrografía y Sedimentología 9: 43-53.
- Dristas, A. J., Hayase, K., Prozzi, C. y Prieto, A. 1980. Estudio sobre la manifestación uranífera de Rincón del Atuel, Departamento de San Rafael, Provincia de Mendoza, República Argentina. 6° Congreso Geológico Argentino (1975), Actas 3: 51-59, Bahía Blanca.
- Ferreira, R. 1982. Consideraciones genéticas sobre los depósitos uraníferos de Sierra Pintada, Mendoza. Comisión Nacional de Energía Atómica (informe inédito), 21 p., Buenos Aires.
- González Díaz, E.F. 1972. Descripción Geológica de la Hoja 27d, San Rafael, provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 132, 127 p., Buenos Aires.
- Japas, M.S. y Kleiman, L.E. 2004. El Ciclo Choiyoi en el Bloque de San Rafael: de la orogénesis tardía a la relajación mecánica. Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación Especial 7, Avances en Microtectónica (11° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural), (Córdoba): 89-100.
- Japas, M.S., Salvarredi, J.A. y Kleiman, L.E., 2006a. Control estructural en la distribución de las mineralizaciones de uranio del ciclo Choiyoi, Bloque de San Rafael, Mendoza. 13° Reunión de Tectónica, Actas digitales, San Luis.
- Japas, M.S., Kleiman, L.E., Rubinstein, N.A. y Morello, O. 2006b. Inversión tectónica por recuperación elástica debido a relajación mecánica postorogénica. 12° Reunión sobre Microtectónica y Geología Estructural (Cafayate, 2004) Asociación Geológica Argentina. Serie D, Publicación Especial 10: 193-200, Buenos Aires.
- Kleiman, L.E. 1993. El volcanismo permo-triásico y triásico del Bloque de San Rafael (provincia de Mendoza): su potencial uranífero. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 284-293, Mendoza.
- Kleiman, L.E. 1999. Mineralogía y Petrología del volcanismo permo-triásico del Bloque de San Rafael en el área de Sierra Pintada, Provincia de Mendoza, y su relación con las mineralizaciones de uranio. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 286 p. (inédito), Buenos Aires.
- Kleiman, L.E. 2002. Movilidad de los elementos durante la alteración en dos mineralizaciones de uranio permotriásicas, San Rafael, Mendoza. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 300-306, El Calafate.
- Kleiman, L.E. 2005. Las ignimbritas Toba Vieja Gorda, una "secuencia intermedia monótona" del ciclo Choiyoi inferior, Bloque de San Rafael, Mendoza. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 651-658, La Plata.
- Lardone, L.E. y Giordano, N.L. 1984. Características estructurales y morfológicas del Yacimiento Tigre I- La Terraza, Sierra Pintada, Provincia de Mendoza. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 353-368, San Carlos de Bariloche.
- Lardone, L.E., Meza, J.C. y Salvarredi, J.A. 1993. Yacimientos de uranio. En Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Minerales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 537-542, Mendoza.
- Llambías, E. J., Kleiman, L. E. y Salvarredi, J. A. 1993. El magmatismo gondwánico. En: Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Minerales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 53-64, Mendoza.
- Moreno Peral, C.A. y Salvarredi, J.A. 1984. Interpretación del origen de las estructuras anticlinales del Pérmico inferior en el Bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 396-413, San Carlos de Bariloche.
- Pérez, E.E. y Solís, J.A. 1984. Reconstrucción paleogeográfica de la Formación Cochicó y su influencia en la mineralización uranífera, en el flanco oriental del Bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 5 : 497-508, San Carlos de Bariloche.
- 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. 1984. Recopilación geológica 1:200.000, Bloque de San Rafael- Cinturón móvil mendocino-pampeano. Comisión Nacional de Energía Atómica, (informe inédito), 3 p., Buenos Aires.
- Salvarredi, J.A. 1999. Yacimiento Dr. Baulés y otros depósitos del distrito uranífero Sierra Pintada, Mendoza. En Zappettini, E. (ed.) Recursos minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 895-906, Buenos Aires.
- Salvarredi, J.A. y Kleiman, L.E. 2001. Metalogénesis del Triásico: Mineralizaciones de uranio. En Artabe, A.E., Morel, E. y Zamuner, A. (eds.) El Sistema Triásico en la Argentina, Fundación Museo de La Plata, p. 277-282.
- Saulnier, M., Gamba, M. y Kleiman, L.E. 1989. Mineralogía y geoquímica del Sector Tigre I, Yacimiento de uranio Dr Baulés-Los Reyunos, Mendoza. En Schalamuk, I.B.A., Brodtkorb, M.K. de y Leanza, H.A. (eds.) Procesos Metalogénicos, Serie Correlación Geológica 3: 149-168, San Miguel de Tucumán.
- Spalletti, L. y Mazzoni, M. 1972. Paleocorrientes del miembro medio de la Formación Yacimiento Los Reyunos. Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrografía y Sedimentología 3: 1-2, Bahía Blanca.

Recibido: 31 de abril, 2007

Aceptado: 25 de abril, 2008