

LOS YACIMIENTOS CUPRO-URANIFEROS DE RAHUE-CO, NEUQUEN
CON REFERENCIAS A LA GEOLOGIA DE LA ZONA

Por CARLOS O. LATORRE

Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires.

RESUMEN

El yacimiento de Rahue-có está compuesto por varios afloramientos distribuidos irregularmente en una sección de 200 m de espesor dentro del Tordillense (Kimmeridgense) integrante, junto con sedimentos calovenses, auquilocenses y berriasenses, de la estructura conocida como "Anticlinal del Caycayen". La roca portadora es una arenisca roja con estratificación diagonal, que pierde su color en los lugares donde existen minerales de Uranio. Estos (uraninita y metatorbernita) y los de cobre, aparecen depositados sobre o en el interior de restos de troncos de *Araucarioxylon* sp. carbonizados y fosilizados. Se supone que los minerales se depositaron a partir de soluciones de aguas subterráneas por acción del material carbonoso o por el SH₂ contenido en éstos. La fuente de origen del uranio se atribuye a un nivel tobáceo suprayacente que contiene hasta 0,0014 % de U₃O₈.

ABSTRACT

Several outcrops of the Rahue-có mine are distributed irregularly in a 200 m thick section of the Tordillense (Kimmeridgian) that together with the Jurassic strata outline the "Caycayen anticline". The country rock is a cross bedded red sandstone, that changes its colour in the areas of uranium concentration. These minerals (uraninite and metatorbernite) and the copper ones were deposited on or within carbonized fossil stems of *Araucarioxylon* sp. It is here suggested that these minerals were deposited from aqueous solutions by the action of the carbonaceous material and the SH₂ contained. The origin of the uranium is attributed to an overlying tuff bed containing up to 0,0014 % of U₃O₈.

I. INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es dar a conocer las características geológicas y mineralógicas de los yacimientos de Rahue-có, donde aparecen minerales de uranio y de cobre asociados a troncos fósiles.

Se pretende además, en base a un perfil litológico, aportar datos de interés referentes a las unidades integrantes de la cuenca neuquina en las que se ubican aquellos yacimientos.

Rahue-có se halla en el noroeste de la provincia de Neuquén, aproximadamente a unos 45 kilómetros al SW de Chos-Malal. Su altura sobre el nivel del mar oscila entre 1.300 y 2.300 m.

Agradecimientos

El autor quiere expresar su agradecimiento a los doctores P. N. Stipanovic, J. F. Villar Fabre, E. Linares, Milka K. de Brodtkorb, H. Castellaro y C. A. Menéndez, a quienes consultó en temas de sus especialidades.

II. ESTRATIGRAFIA

El área estudiada se halla ubicada en la zona de pliegues con ejes de rumbo norte-sur denominada "Región de los pliegues de rumbo meridional" (Herrero Ducloux, 1946) y comprende parte del que se conoce como Anticlinal del Cerro Caycayén. La superficie mapeada corresponde a un sector oblicuo al eje del pliegue, a la altura de su cierre meridional.

En general la cubierta externa de esas estructuras está constituida por sedimentos cretácicos pero, además de ellos, por acción de la erosión afloran representantes jurásicos, triásicos y hasta paleozoicos, como ocurre en la Cordillera del Viento (Stoll, 1957). Los pliegues son alargados y angostos y en muchos casos se hallan afectados por fallas o por intrusiones como en el caso del anticlinal del Cerro Caycayén, que está intruído por cuerpos de composición andesítica.

La estructura geológica de la zona del levantamiento es consecuencia del plegamiento, según un eje NE-SW, de una serie sedimentaria sin discordancias angulares visibles; las fallas que se observan en el lugar no han provocado variaciones importantes en la estructura del plegamiento.

Los terrenos integrantes de la serie consisten en una alternancia de lutitas negras, calizas azuladas, areniscas rojas y bayas y tobas grises y verdes.

Para la descripción estratigráfica se toma como referencia el esquema que confeccionó Groeber para el Jurásico de la Argentina (1952, págs. 144-145). En Rahuc-có afloran terrenos que van desde el Calovense hasta el Reciente, según se detalla seguidamente y conforme al perfil levantado a lo largo de los arroyos Quilicó y Rahue-có:

Techo

RECIENTE	0 - 3 m
R 16 3 m	Tierra vegetal con rodados de arenisca margosa amarilla, ferruginosa, y de arenisca margosa azul.
5 m	Cubierto.
ANDICO	64 m
R 15 8 m	Arenisca amarilla, margosa, con intercalaciones de lutitas verdes.
2 m	Cubierto.
R 14 10 m	Caliza azul con intercalaciones de lutitas bituminosas.
14 m	Cubierto.
R 13 19 m	Caliza azul con concreciones discoidales de hasta 1 m de diámetro y 0.30 m de espesor dispuestas paralelamente a los planos de sedimentación y que contienen restos fósiles de <i>Argentiniceras aff. noduliferum</i> (Steuer), <i>Aulacosphinctes mangaensis</i> (Steuer), <i>Windhauseniceras cf. internospinosum</i> (Krantz), <i>Substeuroceras koeni</i> (Steuer), <i>Wichmaniceras sp.</i> y <i>Berriasella cf. fraudans</i> (Steuer).
5 m	Cubierto.
R 12 3 m	Caliza azul con intercalaciones arenosas amarillentas de lutitas negras, con restos de <i>Virgatosphinctes andesensis</i> (Douville).
3 m	Cubierto.
TORDILLENSE	630 m
R 11 100 m	Complejo compuesto por areniscas y tobas de colores verdes, caracterizadas por un contenido alto de material calcáreo, posiblemente aportado desde niveles superiores.

- R 10 400 m Complejo compuesto por areniscas de colores rojizos y violáceos, con ondulitas y a veces con estratificación diagonal y con restos de troncos carbonizados y mineralizados con cobre y uranio y tobas grises de hasta 2 metros de espesor, intercaladas con las anteriores. En la base de este complejo suelen aparecer lentes de yeso con estratificación diagonal, de hasta 50 m de largo y 10 m de alto.
- 10 m Cubierto.
- R 9 25 m Brecha intraformacional constituida por clastos provenientes del nivel R 8, de tamaños variables que van desde algunos centímetros hasta 5 metros. Esta brecha podría haberse elaborado por erosión subácea sobre el nivel infrapuesto.
- R 8 25 m Caliza azul compacta, con intercalaciones amarillas arenosas de pocos centímetros de espesor.
- R 7 50 m Areniscas de colores bayos con estratificación diagonal y con intercalaciones de plantas carbonizadas y de delgadas lentes tobáceas del mismo color.
- R 6 5 m Limolitas bayas y calizas del mismo color, con restos de *Nebrodités pressulus* Leanza, *Idoceras herrero duclouxi* Leanza y *Aspidoceras (Euaspidoceras) ajax* Leanza.
- R 5 15 m Arenisca conglomerádica de colores bayos y verdosos, con rodados redondeados de hasta 5 cm de diámetro y con restos carbonizados de plantas.
- R 4 0,3 m Brecha constituida por clastos de hasta 1 cm, de caliza lutítica azul oscuro, en un cemento calcáreo, gris blanquecino.

Complejo bayo

Discordancia de erosión

AUQUILCOENSE 27 m

- R 3 2 m Caliza lutítica azul oscuro, que pasa gradualmente a:
- R 2 25 m Caliza fétida de colores azules claros hasta blanco celeste, con esferulitas de calcita de hasta 0,5 cm de diámetro.

Hiato

LOTENIANO 30 m

- R 1 30 m Lutitas negras con restos de *Reineckeia leufuensis* (Weaver) Leanza, *Indocephalites gerthi* (Spath), *Eurycephalites eurystoma*, *Perisphinctes* sp., *Ostrea* sp. y *Hectioceras hecticum* Reineck.

Base no aflorante

Total aproximado 760 m

El Loteniano se halla representado por el nivel R 1 constituido por lutitas negras fosilíferas; el espesor de este nivel, que corresponde al Calovense Superior, no ha podido ser determinado, puesto que su base no aflora en el lugar.

En la sección R2-R5 no se encuentran fósiles para certificar su edad; en cambio en el nivel R6 aparecen tres representantes de la fauna descrita por Leanza (1947), que pueden contribuir a ello.

Según Leanza, mientras dos de esos fósiles pertenecen al Kimmerigense, el tercero, *Aspidoceras (Euaspidoceras) ajax* Leanza, pertenece a un nivel ligeramente más antiguo (Rauraciano).

Entonces, los terrenos que en Rahue-có están por debajo de ese nivel fosilífero pertenecerían al Oxfordense. Esta suposición es seguramente válida por lo menos debajo de la discordancia evidenciada por la brecha de erosión R 4; por lo tanto los niveles R 2 y R 3 se asimilan al Auquilcoense (o Yeso Principal).

El paquete R2-R3 representa así en la zona una facies del Auquilcoense, más desarrollado en otras áreas orientales; así se certifica lo expuesto por Stipanovic y Mingram (1952) en el sentido que el Auquilcoense engrana perfectamente con términos oxfordenses (argovenses), pudiéndose extender hacia arriba hasta el Rauracense en algunos puntos de Mendoza y Neuquén.

Fuera del área mapeada, a unos 3 km en dirección N 80° E desde el punto 3 de la triangulación (ver fig. 1), el banco R2 ha sido casi totalmente suprimido por erosión y se comprueba que inmediatamente por debajo de él aparecen lutitas con *Reineckeia leufuensis*. Esta comprobación hace suponer que en Rahue-có faltan los representantes divesenses. Este hecho cobra especial interés porque indicaría que en Rahue-có se repiten las condiciones señaladas para otros puntos de la cuenca jurásica (como p. ej., Vega de la Veranada) donde aparece un hiato divesiano (Stipanovic-Mingram, 1952).

Los fósiles hallados en el R6 indican que a partir de allí se desarrolla con seguridad el Tordillense, que llega hasta el R11 inclusive. La presencia del Andico queda confirmada a partir del R12 por la fauna titoniana e incluye al R13 con faunas berrasianas.

FORMACIÓN ERUPTIVA

En Rahue-có afloran varios cuerpos intrusivos de composición esencialmente andesítica de formas y tamaños variados, todos ellos discordantes, penetrados en el Tordillense.

Uno de los de mayor tamaño aflora en parte dentro de la zona mapeada; mide aproximadamente 2.500 por 800 m y forma la cumbre de un cerro alargado paralelamente al arroyo Rahue-có. Se trata de una andesita de color gris rosado claro, de grano mediano a fino y de textura porfírica con abundantes fenocristales (más del 50%), la mayoría de los cuales son de andesina; el resto es de hornblenda y muy escaso cuarzo, presentándose los dos primeros en avanzado estado de alteración. La pasta es microgranular, compuesta por andesina, hornblenda, calcita, epidoto, sericita, óxido de hierro y cuarzo.

En la quebrada del arroyo Rahue-có (fuera de la zona mapeada) a 3,4 km medidos a partir del punto de triangulación 3 con rumbo N40° E (fig. 1) existen otros afloramientos que en conjunto afectan la forma de un filón, a modo de prolongación del cuerpo descrito más arriba. El ancho de los afloramientos es variable, pudiendo llegar como máximo a unos 30 m y su longitud alcanza a unos 300 m. Se trata de una andesita muy similar a la anterior, aunque sus componentes, especialmente la hornblenda, se hallan más alterados; en los fenocristales de andesina se observa zonación, correspondiendo a los anillos centrales una composición más básica; el cuarzo como fenocristal se presenta en asociaciones de dos a tres individuos, algunos con extinción ondulada. Otra diferencia con la anterior estriba en la pasta, que posee textura pilotáxica.

Dentro de los límites del bosquejo geológico de la figura 1, queda por mencionar otro afloramiento de roca andesítica; se halla en las cercanías de la manifestación uranífera denominada La Segunda o Chupayas. Es un afloramiento pequeño; la roca es de color gris muy oscuro, porfírica, con fenocristales de andesina de hasta 1,5 mm dispuestos en grupos de dos o tres; la pasta pilotáxica contiene microlitas de andesina, además granos de calcita, clorita y cuarzo.

Fuera de la zona mapeada aflora el cuerpo de mayor tamaño, que constituye la cumbre del cerro Caycayén y que tal vez corresponda a la parte superior de un neck. Se trata de un pórfiro dacítico de grano fino y de fractura irregular que muestra tendencia a partirse en trozos lajosos de bordes muy afilados. Los componentes principales son andesina y cuarzo, acompañados de sericita y clorita; la textura es porfírica con fenocristales hipidiomorfos y pasta microgranular.

Siguiendo a Groeber se estima que esta formación es de edad Mollelitense.

Además de las andesitas descritas, en la margen izquierda del arroyo

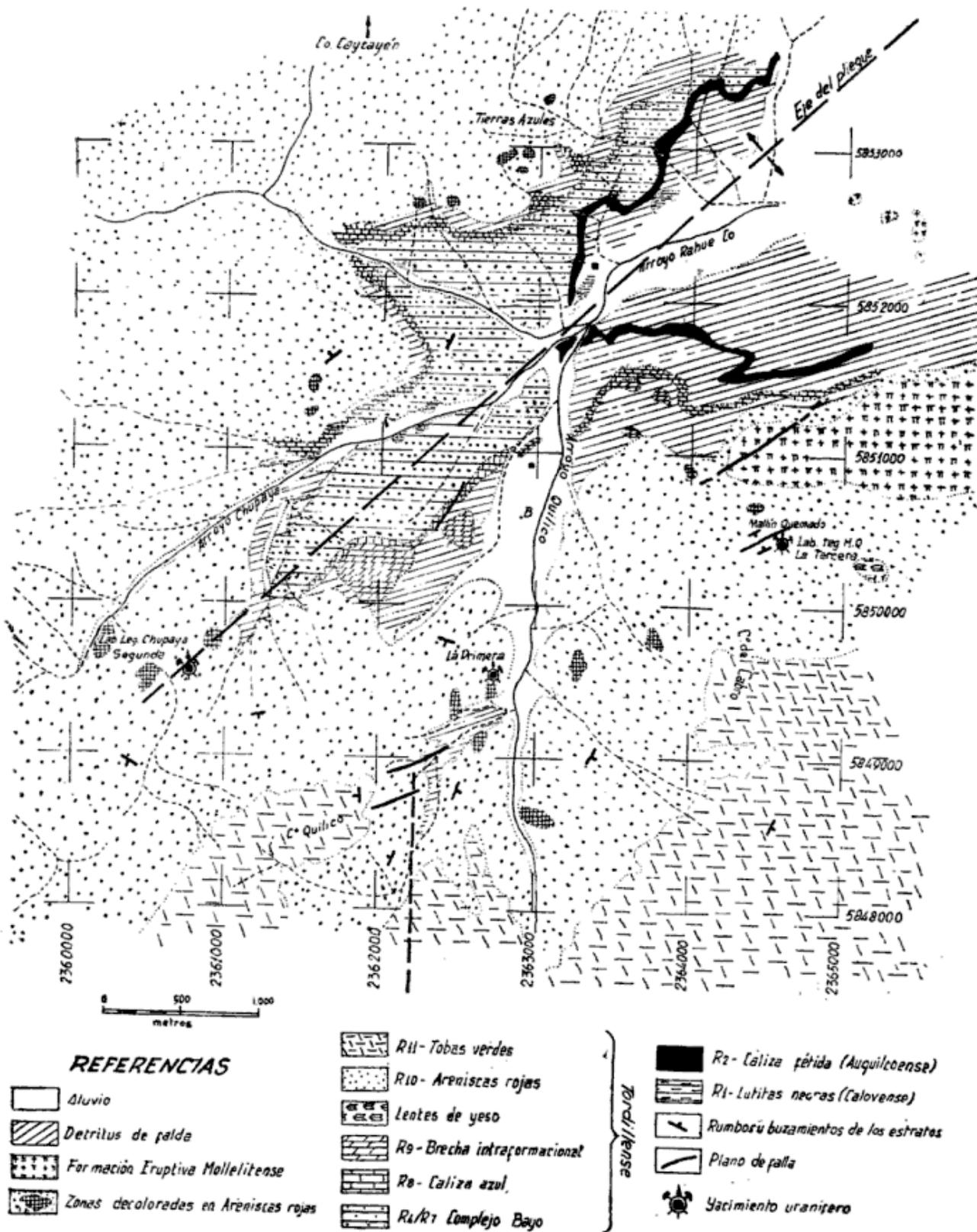


Fig. 1. — Bosquejo Geológico de la zona de Rahué-Co (Neuquén)

Rahue-có, a unos 500 m del extremo NE del bosquejo geológico, aflora un filón de pórfiro riolítico, el que, por estar la zona muy cubierta, no se ha podido establecer si se halla intruyendo al nivel R1 (calovense) o a niveles inferiores. Aflora con rumbo NS y en un ancho aproximado de 10 m. La roca es de color amarillo claro y se caracteriza por la presencia de numerosos cristales idiomorfos de cuarzo muy destacados. La roca contiene, además, feldespato alcalino y biotita, ambos muy alterados. La pasta es de grano muy fino, microgranular, compuesta por cuarzo, calcita y sericita y biotita.

Pese a ser esta roca muy distinta de las descritas más arriba, se acepta que sea parte también de la misma formación eruptiva.

III. EL YACIMIENTO

El yacimiento cupro-uranífero de Rahue-có incluye varios afloramientos distribuidos irregularmente dentro de un espesor de 200 m de sedimentos pertenecientes al Tordillense (Kimmeridgense). Dicha franja aflora por acción de la erosión que ha labrado en un anticlinal una forma de anfiteatro y los afloramientos se disponen como rosario o anillo incompleto de aproximadamente 1,5 km de diámetro. En el mapa (fig. 1) esos lugares aparecen como "zona de arenisca decolorada". Se supone que por acción del proceso erosivo que ha suprimido la mayor parte del eje del anticlinal, han desaparecido otras acumulaciones de minerales, ubicadas dentro de aquellos límites.

En cuatro sectores de los afloramientos se han abierto labores mineras de exploración, las que, con excepción de una galería de unos cinco metros de desarrollo, son simples destapes en la pared del cerro. Los lugares donde fueron realizados están indicados en la figura 1 y se denominan: La Primera, La Segunda (o Chupayas), La Tercera (o Mallín Quemado) y Tierras Azules.

CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

La roca huésped de las manifestaciones uraníferas es una arenisca rojo-rosada, con estratificación diagonal, que tiene intercalaciones tobáceas grises-verdosas de hasta 2 m de espesor.

Si bien la granulometría de la roca portadora es homogénea en todos los afloramientos y no se observan cambios que puedan indicar, en general, grandes diferencias de permeabilidad, debe hacerse notar

que las zonas mineralizadas están limitadas unas veces en la parte superior, otras veces en la parte inferior y muchas veces en ambas, por fajas arcillosas angostas, más o menos continuas, de color rojo semejante al de las areniscas o a veces de colores verdosos. En partes, esas franjas están reemplazadas por un nivel de rodados de color rosado o gris verdoso, de composición arcillosa, de unos 3 cm de diámetro y 1 cm de alto de forma esferoidal achatada (clay-galls), cementados por arenisca. Estas intercalaciones arcillosas pueden haber controlado la circulación de soluciones portadoras de mineralización, tal como se mencionará más adelante.

En los lugares donde se han observado manifestaciones de minerales uraníferos, la roca portadora ha cambiado, en un mismo nivel, de color rojo al gris celeste; el estudio de cortes delgados de varias muestras de la arenisca roja y de la arenisca decolorada indica que el cambio de color se debe a la falta de óxidos de hierro en esta última. El cambio de color es visible a considerable distancia y constituye una guía para ubicar las zonas mineralizadas. El fenómeno de la decoloración de la roca huésped en los lugares donde se ha encontrado mineral de uranio ha sido mencionado por Vickers (1957), quien también lo ha considerado una guía para la ubicación de las zonas mineralizadas.

Tanto en las areniscas como en las tobas intercaladas aparecen restos de troncos fósiles, ya sea silicificados o, en la mayoría de los casos carbonizados. El material carbonoso de los troncos fósiles es un lignito¹. El estudio realizado por Carlos A. Menéndez sobre restos de troncos silicificados, permitió establecer que pertenecen al género *Araucarioxylon* y, aparentemente, a una especie nueva para Sudamérica.

Los troncos se hallan dispuestos siempre horizontalmente, dentro de la roca huésped y los de mayor tamaño se ubican de modo que su eje coincide con la dirección norte-sur; en los restos pequeños no se observa orientación preferencial.

Conforme a los caracteres estructurales de la arenisca portadora de los troncos la posición de éstos parece coincidir con la dirección de la corriente que depositó a la arenisca.

El levantamiento radimétrico efectuado con centellómetro en las diferentes labores indica que los mayores registros de radiactividad se obtienen en los restos carbonosos o inmediatamente al lado de ellos.

¹ Según determinación de Y.C.F.

No todos los restos de troncos son radiactivos; los restos de troncos silicificados son poco o nada radiactivos.

En los esquemas de las figuras 2 y 3 se han representado las características geológicas en dos lugares de las labores denominadas La Primera; allí se observan con mayor claridad los detalles que son comunes a todas las manifestaciones. Los minerales de uranio y de cobre aparecen asociados a los troncos carbonosos ya sea depositados sobre los mismos o rellenando cavidades en su interior.

Como producto de la lixiviación de esos minerales, aparecen otros secundarios (malaquita, azurita, metatorbernita) impregnando a la roca que hace de piso de los troncos, en los planos de diaclasas.

La comprobación que la mineralización se localiza en los lugares donde hay restos carbonosos surge de los análisis químicos (muestras ubicadas en la figura 2).

Muestra	Cu %	U ₃ O ₈ %	V ₂ O ₅ %	ThO ₂ %
Roca de la « caja superior ».....	0.95	0.01	0.0014	ausente
Roca de la « caja inferior ».....	0.85	0.01	0.0017	ausente
Roca con restos carbonizados.....	7.20	0.37	0.0015	ausente

En el caso de las labores denominadas Mallín Quemado, como en algunos sectores de La Primera, las zonas mineralizadas se hallan atravesadas por fallas en cuyos planos no hay mineralización. Por otra parte, en Mallín Quemado se puede comprobar que las fallas son posteriores a la misma.

En muchas labores se han observado en la roca huésped, indicios del paso de soluciones a través de planos de diaclasas subhorizontales, coincidentes con la capa basal (bottom set) de las lentes de estratificación diagonal, tal como se observa en la figura 2. Esos indicios están dados por un oscurecimiento en la roca, que se observa hasta a 3-5 cm a cada lado de esas superficies y decrece en intensidad a medida que aumenta la distancia. La observación de cortes delgados revela que ese aumento de color se debe a la impregnación con minerales de cobre. Radimétricamente se constató que la zona oscurecida posee valores muy poco mayores que la “cuenta de fondo” del resto de la roca, lo que indica que no hay mineralización uranífera de importancia.

Lo observado hasta aquí hace suponer que la mineralización habría sido depositada selectivamente a partir de soluciones que circularon a través de la roca; los minerales radiactivos sobre los troncos carbo-

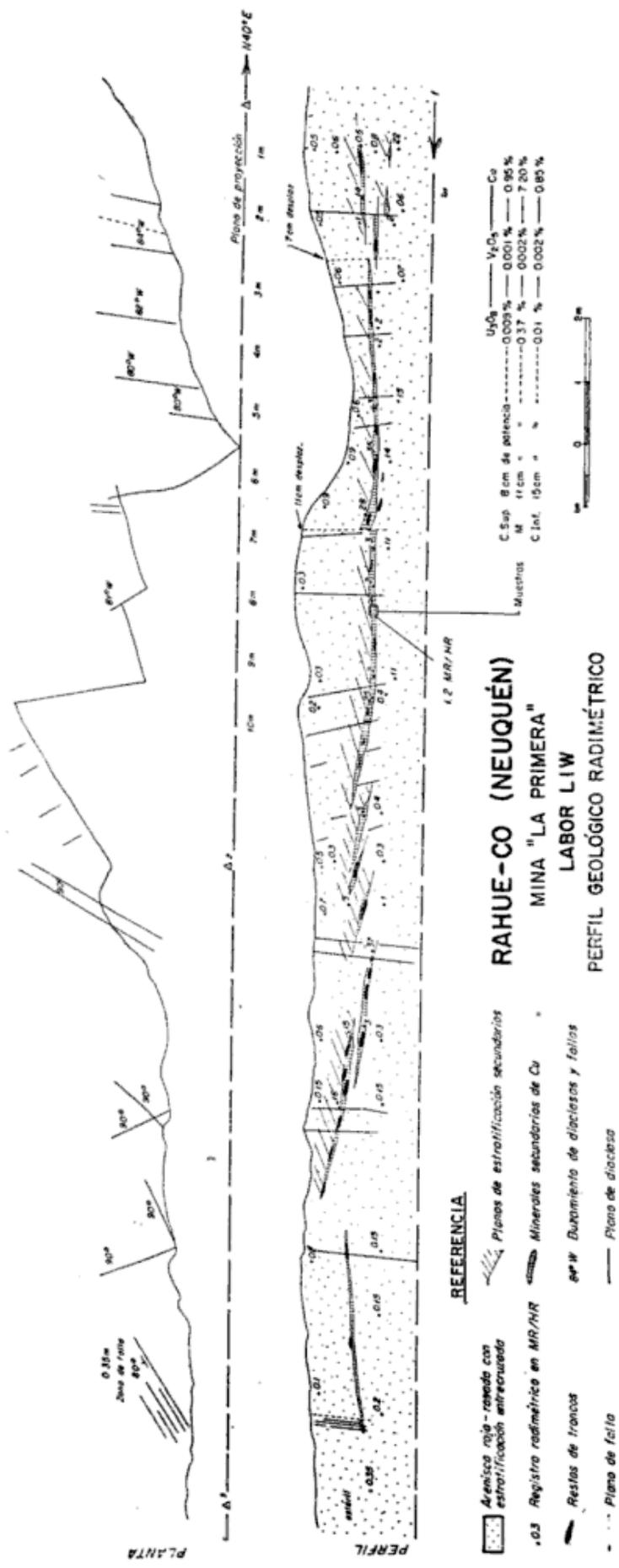


Figura 2

RAHUE-CO (NEUQUÉN)
MINA "LA PRIMERA"
LABOR L3E

PERFIL GEOLÓGICO RADIMÉTRICO



Plano de proyección N° 42° W

REFERENCIA

- Planos de estratificación escalonados
- Minerales secundarios Cu
- Zona de diques y fallas
- Plano de dique
- Plano de falla
- Derrumbe
- Arenisca roja-rosada con estratificación entrecruzada
- Idem decolorada
- Arcilla
- Registro radiométrico en MB/HR
- Restos de fracturas
- Dirección de los frentes

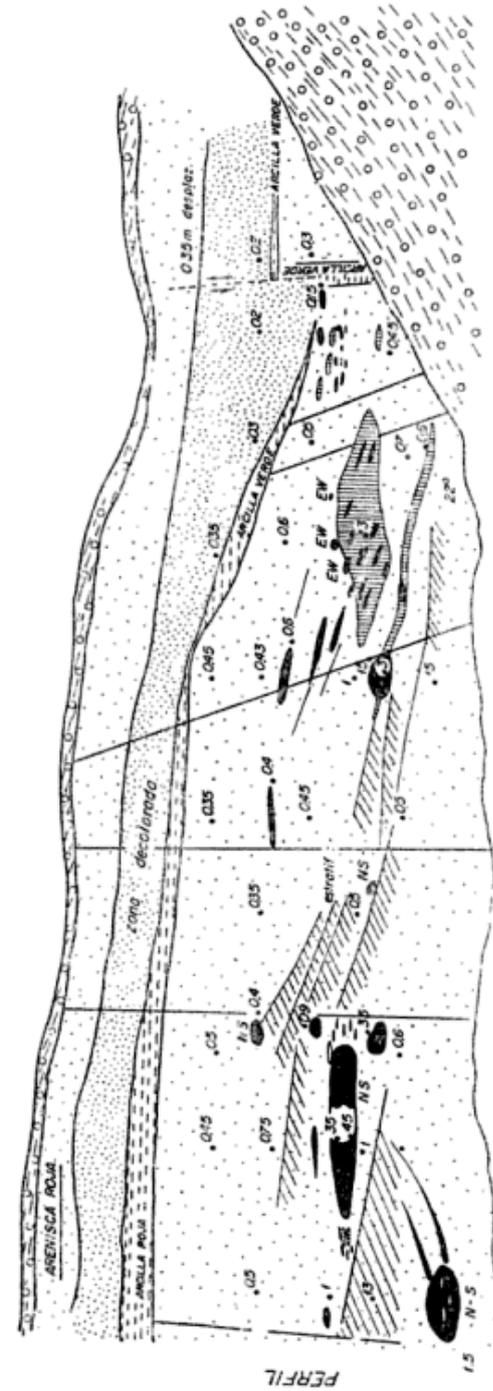


Figura 3

nosos y los restantes, indistintamente sobre éstos o sobre la arenisca portadora. En ésta no se han observado signos de alteración hidrotermal.

Las labores de exploración, si bien han puesto de manifiesto cuerpos o acumulaciones de minerales distribuidos en zonas de hasta 20 m de largo por 2 a 3 m de alto han sido insuficientes a los fines de determinar las dimensiones totales de los mismos. No obstante, se estima que de todas las manifestaciones conocidas, las correspondientes a la zona de La Primera parecen ser las de mayores perspectivas, puesto que en ellas se han encontrado las mayores concentraciones de uranio y cobre.

Ante la posibilidad de que un cambio en la composición o en la granulometría de las rocas de la serie aflorante en la zona, pudiera haber ofrecido un ambiente más favorable a la depositación de los minerales radiactivos, se revisaron las mismas mediante el uso de un centellómetro. Se prestó atención especial a los niveles conglomerádicos y especialmente a los denominados R5 y R7 (pág. 108) por su contenido en restos carbonosos. En todos los casos la prospección indicó valores iguales a la cuenta de fondo.

Para tratar de establecer la fuente de origen del uranio depositado en Rahue-có se hicieron analizar muestras de la formación eruptiva y de las tobas verdes del nivel R11. Las muestras fueron analizadas por fluorimetría, con estos resultados:

Tobas verdes del nivel R 11.....	0,0014 %	U ₃ O ₈
Andesita de Mallín Quemado	0,002 %	„
Pórfiro dacítico C ^o Caycayén	0,006 %	„

Comparando estos valores con los obtenidos por Coats (1956) para rocas volcánicas del oeste de EE. UU. y con los citados por Rankama y Sahama (1954) se comprueba que el contenido en uranio de las rocas estudiadas es muy alto. Se supone que el uranio ha sido lixiviado desde esas rocas e incorporado a las aguas que circularon a través de la arenisca roja.

Mineralogía.

Los minerales determinados en las muestras de Rahue-có son los siguientes:

- a) Minerales de uranio: Uraninita, Uranofano, Metatorbernita y Carnotita;
- b) Minerales de cobre: Bornita, Calcosina, Covelina, Calcopirita, Malaquita y Azurita;
- c) Otros minerales presentes en las muestras: Cuarzo, Baritina, Oxidos de hierro y Plata nativa. (?)

1. *Características y modo de ocurrencia de esos minerales.*

a) *Minerales de uranio.*

Uraninita. La presencia de este mineral fue supuesta en muchas muestras dado que la radiactividad de las mismas era demasiado alta para atribuirle a la sola presencia de los escasos cristales de metatorbernita visibles. La comprobación de la presencia de uraninita fue dificultosa y larga. Para tratar de localizar a este mineral se estudiaron numerosas muestras pulidas, tomadas sobre restos de troncos muy radiactivos; la búsqueda se intensificó en los lugares donde los ensayos autorradiográficos demostraban la mayor concentración de sustancia activa.

Al mismo tiempo, en las fracciones pesadas del material carbonoso radioactivo, separadas con yoduro de metileno, se ensayó la presencia de uranio con la reacción de la perla de FNa; asegurada la presencia de ese elemento en una fracción, se procedía a tomar un diagrama de rayos X. Finalmente se comprobó la presencia de uraninita con un diagrama de polvo.

Posteriormente, en un corte pulido sobre un resto de tronco carbonoso radioactivo, en coincidencia con una zona donde una autorradiografía indicaba una concentración alta de materia activa, pudo observarse la uraninita, la que se presentaba en un grupo de esferulitas de 0,5 a 1 micrón de diámetro. La uraninita se halla reemplazando al carbón; desafortunadamente no se ha podido hallar contactos entre ella y los minerales de cobre depositados en las mismas para poder deducir las relaciones mutuas de edad.

Metatorbernita. $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Se presenta en restos de troncos carbonizados en agregados cristalinos drusoides (rosetas) dentro de cavidades del carbón, ya sea sola o acompañada por cristales de cuarzo ahumado y menos frecuentemente, tapizando fisuras en la roca huésped, conjuntamente con malaquita y azurita.

Es de color verde manzana, traslúcida, de brillo vítreo y no pleocroica. Los individuos son de hábito micáceo según (001), $n_o = 1,648$, clivajes paralelos a (100) y (010). Uniáxica positiva.

Para la identificación de este mineral debió recurrirse al cálculo de los parámetros a_o y c_o de la celda elemental, puestos que solamente con el espaciado es difícil distinguirlo de la Metazeunerita $Cu(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ que, además, tiene propiedades ópticas semejantes.

Para el cálculo de los parámetros se utilizó un método gráfico para cristales tetragonales (Hull-Davey, 1958) con el que se obtuvieron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}a_o &= 6,93 \pm 0.05 \text{ \AA} \\c_o &= 8,65 \pm 0.05 \text{ \AA} \\a_o/c_o &= 1/1,248\end{aligned}$$

Carnotita. La presencia de este mineral fue determinada previamente a este trabajo, como impregnación en una roca tobácea de "La Primera". No ha sido hallado nuevamente.

Uranofano. Fue determinado en una muestra de "La Primera", impregnado a la arenisca decolorada. Se presentaba en cantidad escasa.

b) Minerales no uraníferos.

Bornita y Calcosina rómbica. Se presentan reemplazando estructuras en el material carbonoso.

Esos minerales aparecen asociados en la mayoría de los casos según estructuras que indican reemplazo de la bornita por la calcosina; venillas de ésta atraviesan a la primera.

Otras veces, ambos minerales aparecen con relaciones mútuas tales que determinan una estructura pseudomirmekítica. Según Ramdohr (1955, pág. 356) en este caso ambos minerales podrían haber precipitado conjuntamente. Como en un mismo corte se han observado ambas estructuras, se estima que la calcosina ha reemplazado a la bornita o que ambas han precipitado con una relación de superposición (overlapping, Schwartz, 1928).

Covelina. Aparece como producto de alteración, reemplazando a la calcosina en sus planos de clivaje o en fracturas.

Calcopirita. Se presenta en los restos carbonosos, en individuos redondeados, rodeada de óxidos de hierro hidratados como productos de alteración.

Suele aparecer además, en forma de pequeñas laminillas dentro de la bornita.

Magnetita ?. En las muestras mineralizadas del material carbonoso que se han estudiado con el microscopio de luz reflejada, se ha observado frecuentemente un mineral de color pardo claro, isótropo, de muy bajo poder de reflexión y de dureza mediana. Se presenta en individuos de unos 40 micrones de diámetro, aislados y siempre rodeados con un anillo externo de calcosina, interponiéndose entre ambos una zona de carbón.

No se ha podido comprobar si se trata de magnetita, pero en todo caso, debe tratarse de un miembro de los espinelos.

Oxido de cobre ?. En los cortes pulidos este mineral aparece reemplazando a la calcosina rómbica en sus líneas de debilidad. A la luz reflejada tiene color blanco grisáceo, mediano poder de reflexión, débil anisotropía (con colores que van desde uno muy parecido al de la calcosina hasta otro pardo claro) y carencia (?) de pleocroísmo. Se supone que es un producto de alteración de la calcosina, pero no responde a las características de la cuprita, tenorita ni paramelaconita.

c) Otros minerales presentes en las muestras estudiadas son:

Cuarzo. Aparece en forma de venillas, incoloro o de color blanco, en el carbón, pero también en drusas de individuos con contornos geométricos (prismas y bipirámides) y del tipo ahumado.

Baritina. Se observó en los troncos carbonizados, en asociaciones de individuos de hasta 0,5 cm de lado, en forma de tablillas de color amarillo caramelo.

Plata nativa (?), que se presenta rodeada por calcosina, en individuos de 5 micrones de diámetro.

2. Génesis del yacimiento.

Los hechos que permiten deducir el origen de la mineralización uranífera son los siguientes:

- 1º La mineralización se concentra en pequeños cuerpos distribuidos irregularmente en una zona amplia, tanto horizontal como verticalmente pero, limitados por planos horizontales.
- 2º Las zonas mineralizadas son evidenciadas por un cambio de color en la arenisca huésped, la que de rojo-rosado pasa a gris celeste, por disminución en el contenido de óxidos rojos de hierro.
- 3º La mineralización se halla vinculada a restos de troncos fósiles carbonizados y se concentra sobre éstos (uraninita, metatorbernita) o en mucha menor proporción impregnando la arenisca, inmediatamente al lado de los mismos.
- 4º Hay indicios del paso de soluciones mineralizadas (por lo menos con cobre) a través de planos de diaclasas subhorizontales.
- 5º No hay evidencias de alteración hidrotermal en la roca huésped.
- 6º Los planos de falla que afectan a las zonas mineralizadas son posteriores al proceso que originó esa depositación.
- 7º Generalmente la roca portadora se halla limitada, arriba y abajo de las zonas mineralizadas, por lentes arcillosas.
- 8º Las rocas intrusivas de la Formación Andesítica Mollelitense y las tobas verdes de la parte superior del nivel R11, tienen un contenido de uranio mayor que el término medio citado para ese tipo de rocas.

De acuerdo con esos detalles se estima que el yacimiento uranífero de Rahue-có puede haberse originado a través de los siguientes hechos:

1. Sedimentación de la arenisca roja en un ambiente de cercanía de costa o fluvial, incluyendo troncos de árboles.
2. Carbonización de esos troncos durante la diagénesis.
3. Depositación del uranio (y del cobre ?) a partir de soluciones de aguas circulantes que utilizaron como acuíferos a los planos horizontales de mayor permeabilidad limitados por capas arcillosas confirmantes. La precipitación puede haberse originado por la acción reductora del material carbonoso o por la del SH_2 contenido. El mismo proceso de reducción del U_{+6} a U_{+4} habría motivado la decoloración de la roca huésped.

En cuanto a la fuente de origen del uranio podría atribuirse a las tobas o a las andesitas de las cuales habría sido lixiviado, descendiendo hasta ponerse en contacto con los acuíferos que lo positaron luego.

Con referencia a lo expuesto en 3º), conviene destacar que la asociación del uranio con materiales carbonosos se conoce desde fines del siglo pasado. En 1875, Berthoud, 1875) señaló la presencia de minerales de uranio en una mina de carbón de Leyden, Colorado, U.S.A.; Boutwell (1905) notó la asociación de uranio con madera fósil en el Plateau del Colorado.

En trabajos recientes (1954) se ha demostrado que el uranio puede aparecer asociado con muchos tipos de materiales carbonosos, incluyendo lutitas marinas, asfaltitas, petróleo, carbones y restos de plantas carbonizadas.

Las concentraciones de este elemento en materiales carbonosos ha suscitado gran número de especulaciones relativas a la adsorción de uranio por las plantas y animales vivos. Se han hecho investigaciones al respecto, y como resultado de ellas se ha establecido que los vegetales absorben porcentajes de uranio extremadamente reducidos y que la cantidad absorbida no es suficiente para explicar las grandes acumulaciones halladas en restos fósiles de plantas (Hoffmann, 1941). También se ha demostrado experimentalmente (Hoffman, 1941) que los animales absorben uranio de las plantas a través de los procesos de nutrición y que contienen este elemento en concentraciones semejantes a las encontradas en las plantas vivas.

Un estudio detallado de un yacimiento de lignitos uraníferos de Dakota, U.S.A. (Denson *et al.*, 1950) permitió suponer que el uranio de esos depósitos fue introducido por soluciones frías de aguas subterráneas, posteriores a la carbonización, y que el material carbonoso debe tener gran capacidad para extraer uranio de soluciones

A efectos de establecer la capacidad del carbón para extraer el uranio de soluciones diluídas. Moore (1954) realizó experiencias de laboratorio, ensayando diversos materiales, y obtuvo resultados que indican que los materiales más efectivos son la turba, el lignito y el carbón sub-bituminoso. Este hecho ha llevado a suponer a muchos investigadores que la asociación tan común de uranio con materiales carbonosos se debe a la habilidad de esos materiales para formar compuestos metalorgánicos. Así Breger y Deul (1956) afirman que "al ponerse en contacto el ión uranilo con el carbón se forma un compuesto orgánico de uranio, probablemente un humato de uranilo insoluble por encima de un pH 2,2; en medios más ácidos el uranio puede ser separado del carbón. Existe la posibilidad (Adler, 1962), de que la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones reductoras lleve a la formación de SH_2 que, como se sabe, reduce el ión uranilo a dióxido de uranio insoluble. El material carbonoso, en este caso, se asociaría solamente en forma indirecta con el uranio". Por otra parte, estos mismos autores habrían obtenido pruebas de que la madera carbonizada de la meseta del Colorado (Berthoud, 1875) también puede captar cantidades suficientes de uranilo para dar lugar a la formación de uraninita.

Contrariamente a la opinión de Breger, Deul y otros, Nekrasova (1958) no cree en la existencia de compuestos urano-orgánicos; recientemente ha estudiado la composición de carbones uraníferos, y como resultado postula que el uranio depositado en las materias carbonosas se halla solamente en algunas de las siguientes formas: a) mineral de uranio; b) mineral que contiene uranio, y c) formas mineralógicamente no identificables, pero químicamente desvinculadas de la materia orgánica.

En cuanto al proceso de formación de esas asociaciones, tanto mineralógicas como complejo-orgánicas del uranio, Breger y Deul suponen (op. cit.) que este

elemento no está asociado genéticamente con las sustancias carbonosas, pero que es recogido por éstas en el curso de su migración.

Estudios isotópicos (Adler, 1962) de minerales sulfurosos paragenéticamente equivalentes a los minerales de uranio depositados en areniscas, indican que el SH_2 formado durante la diagénesis por procesos bacteriológicos, fue el principal agente precipitante del uranio.

El hecho que en un mismo yacimiento existan restos orgánicos estériles cerca de otros mineralizados con uranio, se ha explicado por la acción del factor geológico (el más importante), que ha regulado la formación de los yacimientos en rocas sedimentarias y que está relacionado con los caminos que han seguido las soluciones uraníferas: grietas y fracturas en las rocas, espacios porosos y principalmente estructuras sedimentarias como páleo-canales, estratificaciones diagonales, etc., cuyo estudio tiene gran importancia para establecer la dirección y el sentido que puedan haber seguido las soluciones que han circulado a través de ellas (Poole-Williams, 1956).

El lector puede consultar un resumen más completo de las modernas teorías de la formación de yacimientos de uranio en sedimentos y su aplicación a yacimientos argentinos en el trabajo de Stipanovic *et al.* 1962.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

1. ADLER, H. H. 1962. *The genesis of uranium ores.* — U. S. Atomic Energy Commission, Division of Raw Materials, Washington, D. C.
2. BERTHOUD, E. L. 1875. *On the occurrence of uranium, silver, iron, etc., in the Tertiary formations of Colorado Territory.* — Acad. Nat. Sci. Philadelphia. Proc. XXVII, 363/5.
3. BREGER, I. A., DEUL, M. y RUBINSTEIN, J. 1955. *Geochemistry and Mineralogy of uraniumiferous lignite.* — Econ. Geology, L, nº 2.
4. BREGER, I. A. y DEUL, M. 1956. *Geoquímica orgánica del uranio*, en (16), P/49, 478/81.
5. BOUTWELL, J. M. 1905. *Vanadium and uranium in southwestern Utha.* — U. S. Geol. Sur. Bull. 260, 209.
6. COATS, R. R. 1956. *Distribution of uranium and certain other trace elements in felsic volcanics rocks of Cenozoic age of the western U.S.A.*, en (16), 248/251.
7. DENSON, N. M., BACHMAN, G. O. y ZELLER, H. D. 1950. *Summary of new information on uranium lignites in the Dakotas.* — U. S. Geol. Sur., Trace elements Mem. Rept. 175.
8. FRONDELL, CL. 1958. *Systematic Mineralogy of Uranium and Thorium.* — U. S. Geol. Sur. Bull. 1064, Wash.
9. GROEBEL, P. *et al.* 1952. *Mesozoico*, II, 1ª parte, Geografía de la República Argentina, GAEA, Bs. Aires.
10. HERRERO DUCLOUX, A. 1946. *Contribución al conocimiento geológico del Neuquén Extraandino.* — Bol. de Informaciones Petroleras, Y.P.F., 266, Bs. As.

11. HOFFMANN, J. 1941. *Determination of uranium in Living and Dead plants.* — *Bodenbunde und Planzenernahrung*, 318/327.
12. — 1941. *Uranium in the animal organism.* — *Wien Tierartzliche Monatschifte*, XXVIII, 561/566.
13. HULL-DAVEY en AZAROV, L. V. y BUERGER, M. J. 1958. *The powder method in X-ray crystallography.* N. Y.
14. LEANZA, A. F. 1947. *Descripción de la fúnula kimmeridgiana de Neuquén.* — *Direc. Nac. Minas y Geol., Inf. Prelim. y Comun. n° 1*, Bs. Aires.
15. MOORE, G. W. 1954. *Extraction of uranium from aqueous solution by coal and some other materials.* — *Econ. Geol.* XLIX, n° 6, 652/58.
16. NACIONES UNIDAS. 1956. *Actas de la Conferencia Internacional sobre la utilización de la energía atómica con fines pacíficos. VI. Geología del Uranio y del Torio*, Ginebra.
17. — 1958. *Proceedings of the Second United Nations International Conference on the peaceful uses of atomic energy. II Survey of Raw Materials Resources.* Ginebra.
18. NEKRASOVA, Z. A. 1957. *The origin of uranium mineralization in coal. The Geology of Uranium.* — *The Soviet Journal of Atomic Energy, Supplement n° 6*, Atomic Press, Moscou.
19. — 1958. *From the occurrence of uranium in some coals*, en (17) 412/419.
20. POOLE, F. J. y WILLIAMS, G. A. 1956. *Dirección de transporte de los sedimentos que constituyen las formaciones triásicas y asociadas de la Meseta del Colorado*, en (16), 379/383.
21. RANKAMA, K. y SAHAMA, TH. G. 1954. *Geoquímica*, Madrid.
22. RAMDOHR, P. 1955. *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen*, Berlín.
23. SCHWARTZ, G. M. 1928. *Significance of bornite-chalcocite microtextures.* — *Econ. Geol.* XXIII.
24. STIPANICIC, P. N. y MINGRAM, A. 1952. *Informe preliminar sobre la estratigrafía, cronología y distribución facial de los sedimentos del Dogger-Malm en el sector neuquino-mendocino de la cubeta mesozoica argentino-chilena.* — Y.P.F., Bs. Aires.
25. STIPANACIC, P. N. et al. 1962. *Los depósitos uraníferos en rocas sedimentarias de la República Argentina.* — *Anales las Jornadas Geol. Arg.*, Bs. Aires.
26. STOLL, W. C. 1957. *Geología de los depósitos minerales de Andacollo, Prov. de Neuquén.* — *Dir. Nac. de Minería, Anales IV*, Bs. Aires.
27. VICKERS, C. R. 1957. *Alteration of sandstones as a guide to uranium deposits and their origin.* — *Econ. Geol.*, LII, n° 6.

Manuscrito recibido en marzo de 1963.