

Esto conduce a un sensible empobrecimiento del contenido de Ni, Co y Mn de las zonas inestructurales, que por lo general son escombreadas durante la minería, unido al incremento sensible de la gibbsita (15-30 %) la cual es considerada nociva al proceso tecnológico y no es portadora de níquel.

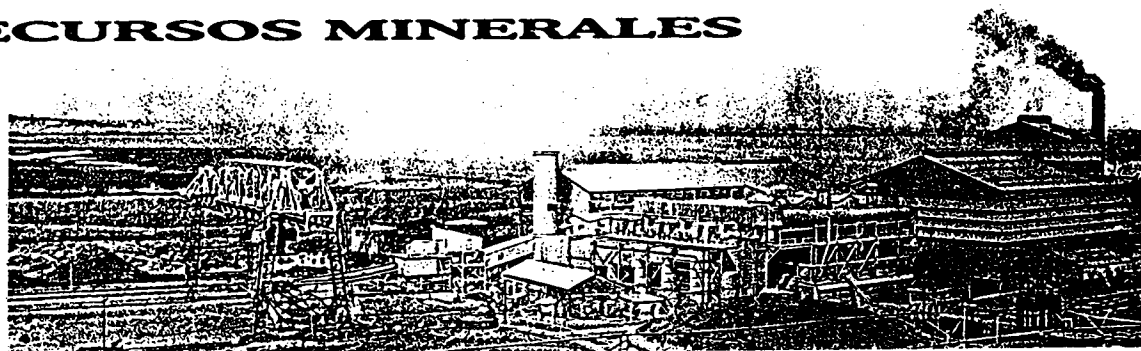
Estas regularidades geoquímicas del intemperismo de las ultramafitas presentan diferentes intensidades, según se muestra en el diagrama de dependencia (ver Figura 4), lo que denota distintos niveles de lixiviación del silicio, en dependencia del microclima, condiciones geomorfológicas y quimismo de la roca madre, siendo preponderante la influencia microclimática en el curso de los procesos de intemperismo. A este respecto contrastan grandemente las regiones Mayarí y Moa-Baracoa, según se señaló anteriormente, por lo que el intemperismo en la meseta Pinares de Mayarí ocurre con gran retención del silicio en comparación con los yacimientos de Moa-Baracoa. En el yacimiento Montecristo, con rocas ultramáficas cumulativas altas, de gran contenido de silicio (41,02 %), se observa un proceso de intemperización con bajo nivel de hidrólisis de los silicatos hipergénicos, lo que provoca una alta concentración de minerales arcillosos en todas las zonas litológicas friables de la corteza de intemperismo (19,32-28,62 %), constituyendo las peores condiciones de hipergénesis de la región Moa-Baracoa.

A tenor de estas regularidades, los litotipos de la corteza de intemperismo se diferencian intrínsecamente de un yacimiento a otro, provocando disimilitudes en las características tecnológicas y la potencialidad económica de los yacimientos, incluso dentro de ellos mismos. El potencial económico del yacimiento dependerá también de la proporción existente de perfiles inestructurales, lo cual es función principalmente de las condiciones geomorfológicas del terreno: grado de difusión de las pendientes abruptas (20-30°) y nivel de amesetamiento alcanzado.

CONCLUSIONES

1. La zonalidad litológica de la corteza de intemperismo de rocas ultramáficas en Cuba oriental, no es función de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar,

APROVECHAMIENTO DE RECURSOS MINERALES



sino del gradiente de peniplanización (pendientes), la composición química y mineral, el grado de fisuración tectónica de la roca madre, y del microclima de la localidad.

2. La tendencia de los procesos de intemperización de ultramafitas es única para cada localidad geomorfológica y microclimática (yacimientos) con marcadas disimilitudes aún dentro de la misma región, siendo las diferencias microclimáticas el factor más determinante.
3. La composición química y mineral de las zonas litológicas de la corteza de intemperismo de ultramafitas es función directa de la naturaleza petrológica de la roca madre (substrato) y de la tendencia de evolución del proceso de intemperismo (nivel de lixiviación del silicio y el magnesio). La característica local se expresa en la proporción de tipos de perfiles de intemperismo desarrollados.
4. La migración geoquímica manifiesta dos estadios básicos:
 - a) Acumulación general inicial de elementos metálicos (Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Au, Pt, Pd) con lixiviación y acarreo de los álcalis (Na, K, Ca, Mg) y el silicio.
 - b) Redistribución parcial vertical de elementos metálicos (Fe³⁺, Cr³⁺, Mn, Ni, Co, Au, Pt, Pd) según las barreras geoquímicas (sorciones, cambios de pH).
5. El potencial económico de la corteza laterítica de ultramafitas es determinado por los factores geológicos señalados, en dependencia principalmente del proceso tecnológico de procesamiento de las menas y el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- Bulletin du Bureau de Recherches Geologiques et Minières, no. 3, Paris, 1978.
- GOLIGHTLY, J.P.: *Nickeliferous laterite deposits. Economic Geology*, 75th Anniversary volume, pp. 710-735, 1981.
- KARTASHOV, I.P. et al.: *Antropógeno de Cuba*, XI Congreso INQUA, Nauka, 1982 (en ruso).
- LAVAUT, W.L.: *Control litológico-mineralógico de la mineralización en el campo mineral: Yacimientos Punta Gorda, Las Camariocas y Piloto*, Tesis doctoral, Moscú, 1987.

Nueva prospección de rocas fosfáticas en el paleozoico inferior de la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, República Argentina

Rubén Ignacio Fernández

Investigador del CONICET. Programa de Formación Permanente en Geoindustrias (PFPGI). Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino (UNSTA). República Argentina.

INTRODUCCIÓN

Desde 1986, hemos realizado observaciones en ambos márgenes de la Quebrada de Humahuaca (provincia de Jujuy, Argentina) prospectando rocas y minerales fosfáticos, con especial interés en unidades formacionales del basamento metamórfico y cobertura sedimentaria del paleozoico inferior. Así se han localizado importantes anomalías de fósforo en rocas de la Formación Puncoviscana (pizarras y filitas) y calizas epimetamorfizadas (Formación Volcán), con valores que alientan a continuar la tarea prospectiva. Sin embargo, creemos que aún estamos comenzando debido a la escasez de estudios geoquímicos de detalle que experimentan vastas regiones de nuestra patria y particularmente la abordada en este trabajo.

La zona estudiada se encuentra aproximadamente a 40 km al norte de la ciudad de San Salvador de Jujuy (Figura 1), capital de la provincia homónima. Morfoestructuralmente se ubica en la denominada «Provincia Geológica» de la Cordillera oriental (Turner & Mon, 1979). Al ser un área de intenso laboreo minero por la explotación de calcáreos de la Fm. Volcán, para acerías locales y nacionales, existen estudios detallados sobre diversos tópicos geológico-mineros (Fernández, 1985). Entre los trabajos más importantes sobre el área podemos citar los siguientes: Loss & Giordana (1952); Rayces (1969); Borrello (1969); Iza (1970); Navarro (1978); Aceñolaza & Toselli (1981), los cuales mencionan las primeras anomalías fosfáticas en las calizas; Fernández & Díaz Taddei (1984) y sucesivas contribuciones tendientes a esclarecer en parte la estructura, mineralogía, bioestratigrafía y quimismo del basamento y cobertura sedimentaria de la Sierra de Tilcara (Fernández 1986a-b; 1987a-b-c-d; 1988a-b-c-d y 1989).

También se efectuaron trabajos que correlacionaron estos depósitos calcáreos con otros similares del noroeste argentino, realizándose importantes observaciones sobre la tectónica y estructura interna del basamento metamórfico por Porto et al. (1990); Fernández et al. (1989) y Fernández & Gómez Macedo (1992-1993). Actualmente nuestro principal objetivo es continuar con el aporte de estudios e información sobre estas «Guías Mineralógicas o Geoquímicas» para la prospección de nuevos yacimientos, no solamente de fosfatos y calizas sino también de lantánidos y uranio.

Reseña geológica. Generalidades

Para la descripción geológica del área y columna estratigráfica local nos remitimos a la Figura 1 (1a y 1b). Ambos perfiles geológicos fueron levantados transversalmente a la Sierra de Tilcara de dirección meridional, al tomar como base el mapa geológico-topográfico levantado por Navarro (1978) y Fernández (1985). Los mismos se realizaron con brújula tipo Brunton y cinta de 25 m, ajustando las cotas con altímetro y utilizando como referencia puntos acotados por triangulaciones del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) de la República Argentina. Como el muestreo debió realizarse con sumo detalle, se emplearon en campaña escalas de 1:1 000 y 1:2 500 (Fernández, 1985).

RESUMEN: Se realiza una descripción sumaria de las principales características mineralógicas y geológicas de unidades-roca portadoras de roca fosfática que afloran en la ladera occidental de la Sierra de Tilcara en la provincia de Jujuy, Argentina. Las unidades descritas son: Formación Puncoviscana (precámbrico-cámbrico inferior), Formación Volcán (cámbrico medio) con su Miembro Bárcena (cámbrico superior-ordovícico inferior) y Formación Los Tilianes (cuaternario). Dichas formaciones fueron estudiadas por la detección de anomalías fosfáticas unido a la presencia de lantánidos y minerales de uranio. Se han realizado determinaciones petrográficas y mineralógicas, además de grados comerciales BPL.

Los ciclos Fosfatogénicos han sido estudiados usando el concepto de «Metalotectos» que presentan una determinada asociación mineralógica para cada época metalogénica. Así se asignan las asociaciones a dos grandes ciclos: Pampeano y Famatiniano, de edad paleozoica y al ciclo Andino, para las restantes mineralizaciones cuaternarias.

ABSTRACT: In this paper, the author describes the principal geologic and mineralogic characteristics of follow formational units in occidental hillside of Tilcara Range in the province of Jujuy: Puncoviscana Formation (precambrian - lower cambrian) Volcan Formation (middle cambrian) with, Barcena Member (upper cambrian -lower ordovician) and Los Tilianes (quaternary). It formations has been studied by detection of anomalies of Phosphatic minerals containing Lanthanids and Uranium. The three first formational units present anomaly in rocks, but the rest unit in a typic meteorization profile. Also has determined petrographically the phosphatic rocks presents in each formation and moderate of BPL grades.

The phosphatogenic cycles has been studied using the «Metalotec» concept, for mineralogical associations between determined metallogenetic epoch. Likewise to be assigned this phosphatogenic epoch in two greater cycles Pampean and Famatinian, for paleozoic age; and Andean cycle, for quaternary deposits.

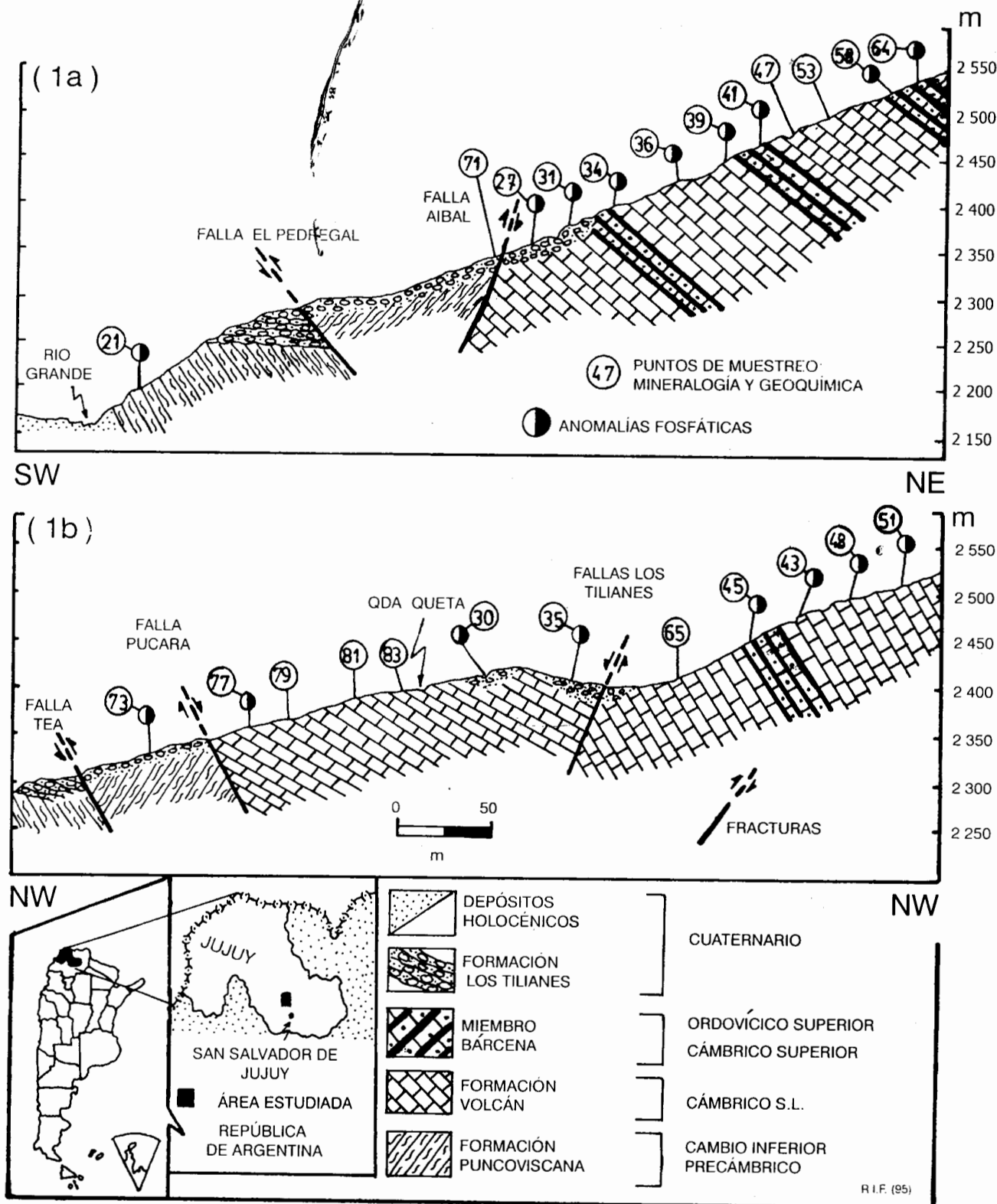


FIGURA 1. Perfiles geológicos.

Así tenemos las siguientes unidades:

Precámbrico-cámbrico inferior

Formación Puncoviscana (Turner, 1960).

Constituye el denominado «basamento metamórfico» de la Sierra de Tilcara y está constituida por sedimentos epimetamorfizados (facies de esquistos verdes) con predominio de pizarras, grauvacas y pelitas de color verde, morado y escasos niveles pardo-amarillentos que se hallan dispuestos en bancos tabulares delgados donde pueden observarse aún, rasgos sedimentarios (Fernández, 1985-1987a). Se destacan estructuras sedimentarias: estratificaciones cruzadas de bajo ángulo; pares psamíticos y pelíticos, típicos de turbiditas (Fernández & Díaz Taddei, 1984; Fernández, 1987c). Afloramientos de esta unidad se observan en ambos lados de la fractura El Pedregal (Figura 1a) notándose una aparente relación de concordancia angular con la Formación Volcán (suprayacente) en otros sectores de la Sierra; mientras que con respecto a las unidades cenozoicas (Figuras 1a y 1b), su relación se manifiesta por discordancias angulares y fracturas de gran rechazo (Fernández, 1985, 1987c, 1988a). Las distintas opiniones y estudios sobre el ambiente deposicional de la Formación Puncoviscana son coincidentes al aceptar un origen marino: tipo de sedimentación de talud continental con abanicos submarinos, canales y cañones, en ambientes de posición distal, media y proximal (Bodonaro, 1992).

Estudios anteriores realizados por Fernández & Díaz Taddei (1984), Baldi & Omarini (1984), Jezek *et al.* (1987) y Jezek (1990) corroboran lo antes dicho. Así, hemos reconocido plegamientos sinsedimentarios y estructuras de deslizamiento subácueo en el sector comprendido entre las fallas Pucará y Tea (Figura 1b), verificándose una dirección de esfuerzos del ciclo Pampeano del NE-SO, descritos e ilustrados por Fernández (1987c, 1988d) y Fernández & Gómez Macedo (1993).

En base a la cristalinidad relativa de illita, Toselli (1981), Toselli & Weber (1982) y Toselli (1990) determinaron el grado metamórfico de la Formación Puncoviscana entre epimetamorfismo y anquimetamorfismo. Asimismo es aceptada la existencia de un talud continental profundo en la zona central de la cuenca y una zona de plataforma somera, no muy ancha, hacia el este (Durand & Aceñolaza, 1990; Bordonaro, 1992). Las facies carbonáticas (Formación Volcán) son incluidas por numerosos autores dentro de la Formación Puncoviscana (Jezek *et al.*, 1985; Jezek, 1990 y Porto *et al.*, 1990). Sin embargo, hallazgos paleontológicos efectuados por Fernández (1987d) proponen su reubicación como unidad formacional independiente en el Cámbrico s.l.

En base al estudio de trazas fósiles (Fernández & Díaz Taddei, 1984; Aceñolaza & Durand, 1987; Durand & Aceñolaza, 1990; y Durand, 1992) se ha podido establecer que el límite precámbrico-cámbrico se halla en la cuenca de Puncoviscana. Asimismo, con los datos radiométricos obtenidos en distintas localidades de Salta y Jujuy, Adams

et al. (1993) indican edades de deposición que varían entre 535 y 545 M.A.

Cámbrico medio

Formación Volcán (Loss & Giordana, 1952) nom. subst. «Formación calcareo carbonosa de León-Volcán» (Borrello, 1969), redif. Fernández (1986a).

Integrada por calizas negro azuladas y gris azuladas, dispuestas en bancos tabulares que superan los 2 m de espesor. Se destacan importantes y densos enrejados de venillas calcíticas y silíceas (escasos pegmatoides) de 2 a 5 cm de espesor, pero de varias decenas de metros de corrida longitudinal (Fernández, 1985, 1986a).

Su espesor económicamente explotable se estima en más de 1 500 m debido a observaciones microtectónicas que han permitido detectar repeticiones estratigráficas y replegamientos que aumentaron el espesor real hasta casi el doble (Fernández, 1985, 1986b, 1987c; Fernández & Gómez Macedo, 1993).

Petrográficamente se han reconocido micritas macizas, micritas oligocuarzosas, esparitas recristalizadas, según la clasificación de Folk (1968); Fernández (1986a, 1988a, 1989). Sureda *et al.* (1986) y Sureda & Gallisky (1987) las denominan *calizas de plataforma*, asignándolas a una época metalogénica del precámbrico superior. Posteriormente Fernández (1988b), las incluye dentro del ciclo Pampeano de Aceñolaza & Toselli (1976, 1981) y al mismo tiempo dentro del Metakotecto 1, de Sureda *et al.* (1986). La relación de estas calizas con los términos litológicos del Miembro Balcena es concordante, ya que se observan intercalados como bancos tabulares (Figuras 1a y 1b). Dicho miembro de lutitas negras fosilíferas ha merecido la definición estratigráfica y la categorización de *miembro* de la Formación Volcán por su importante distribución en el área, y por su interesante fauna fósil (Fernández, 1986, 1987d).

El origen de estas calizas no está aún definido del todo, pero se acepta en base a los estudios de Fernández (1985, 1986a, 1987d, 1988b); Jezek *et al.* (1985); Porto *et al.* (1990) y Jezek (1990), que el emplazamiento de las mismas se debe a procesos tectónicos o sinsedimentarios como olistostromas deslizados en el talud, o bien como depósitos autóctonos sobre dorsales (Bordonaro, 1992).

Cámbrico superior - ordovícico inferior

Miembro Balcena (Fernández, 1987d).

Consiste esencialmente en lutitas negras de aspecto carbonoso y areniscas finas gris-azuladas a negras con trilobites, braquiópodos y estromatolitos (Fernández, 1987d, 1988a). Fueron descritas con anterioridad por Loss & Giordana (1952) como «sucesión calcáreo-carbonosa», posteriormente asignadas por Rayces (1969) y Scanavino & Guichón (1972) como «escamas» del ordovícico (?) y finalmente Navarro (1978) las describió como pizarras y lutitas interestratificadas en los bancos calcáreos (Fernández, 1985, 1986a-b).

Los fósiles encontrados por Fernández (1986c, 1987d) son trilobites y braquiópodos pertenecientes a biozonas del límite cambro-ordovícico, actualmente en discusión. En base a los estudios realizados por Aceñolaza (1983); Aceñolaza & Aceñolaza (1991); Aceñolaza (1992) y los elementos faunísticos que encontramos de la zona de *Parabolina Argentina* (ahora ubicada en el cámbrico superior) y *Neoparabolina-Jujuyaspis fidelis*, además de elementos de la zona de *Kainella meridionalis*, podemos establecer esta edad relativa para el miembro de lutitas (Fernández & Gómez Macedo, 1993). Se han localizado delgados niveles de estromatolitos de 10 a 15 cm de potencia por sobre los 2 500 m sobre el nivel del mar (Figura 1a, local 64) que presentan acuñamientos laterales y reemplazamientos de las bandas carbonáticas por chert y minerales fosfáticos (Tabla 1). Morfológicamente los estromatolitos, se asemejan al tipo Stratifera (Korolyuk, 1960) descritos anteriormente por Fernández (1987b-d).

Las lutitas y las areniscas finas presentan interesantes asociaciones mineralógicas que incluyen, entre otras, a Materia orgánica, Grafito, Sulfuros, Fosfatos y minerales radioactivos (Fernández, 1987c, 1989; Porto et al., 1990). El espesor de los paquetes de lutitas es variable en los distintos afloramientos y perfiles relevados, notándose por lo general que no superan los 50 m de espesor. Su relación con las unidades cenozoicas suprayacentes es discordante y por contacto tectónico (Fernández, 1987c, 1989; Fernández & Gómez Macedo, 1993).

Cenozoico - cuaternario

Formación Los Tilianes (Fernández, 1986b).

Con esta denominación se agrupan depósitos fanglomerádicos consolidados, que tienen discordancia angular con las unidades formacionales paleozoicas y también contacto tectónico (Fernández, 1987c, 1989; Fernández & Gómez Macedo, 1993) ver Figuras 1a y 1b. Estos depósitos están afectados por fenómenos neotectónicos reflejados en fracturas de menor envergadura que las graficadas en los perfiles de la Figura 1.

Fernández (1985, 1986b) distingue litológicamente dos facies en sección vertical:

1. Secuencias granodecrecientes en la base, pasando paulatinamente a conglomerados medianos y finos hacia el tramo medio de la secuencia.
2. Desde este tramo hacia el techo, se depositan fanglomerados (5-6 m de espesor) entre los que intercalan estratos limosos y limo-arcillosos (menores de 0,5 m de espesor) de colores pardo-rojizos y amarillentos.

Debido a problemas de porosidad experimentados por niveles arenosos de estos depósitos, se producen deslizamientos pendiente abajo, de grandes masas fanglomerádicas que saturadas de agua, se depositan al pie de las laderas o sobre niveles aterrizados holocénicos más modernos ver Figura 1a (ambos lados de fallas Aibal y El Pedregal) y 1b (ambos lados de falla Tea) (Fernández, 1986b).

El espesor promedio de esta unidad, medido en varias secciones transversales a la Sierra de Tilcara, no

supera los 50 m, observándose secuencias granocrecientes hacia el tope de los paquetes fanglomerádicos y estratificaciones cruzadas planares (artesas más escasas). Estos depósitos representan sectores proximales de un abanico aluvial generador de los mismos, similar a los modelos propuestos por Steel et al. (1977), Spalletti (1980) y descritos por Fernández (1985, 1986b). Los criterios antes mencionados permiten deducir que estos fanglomerados se formaron en una zona de fuertes irregularidades topográficas, lo que explica los contrastantes cambios de espesor laterales, faciales y granulométricos en cortas distancias (paleocauces y discontinuidad de la tabularidad de los bancos en pocos metros) por Fernández (1985, 1986b, 1989).

Depósitos holocénicos

Se reconocen dos tipos de depósitos:

- a) Niveles aterrizados antiguos (Fernández, 1986b), localizados a la salida de las quebradas como depósitos remanentes y topográficamente más elevados en ambas márgenes de los cauces que descienden hacia el oeste. Son de origen aluvial y coluvial con clastos de variada naturaleza (metamorfitas, calizas y lutitas) y con distinta granulometría (conglomerados finos a bloques) (Fernández, 1985, 1986b, 1989).
- b) Relleno de cauces. Predominan arenas, gravas y bloques, disponiéndose en el cauce principal del Río Grande (Figura 1a) y en la mayoría de las quebradas secas (activas en época estival) que descienden al oeste por la Sierra de Tilcara. Estos depósitos se caracterizan por recibir un aporte constante de material proveniente de ambas márgenes del Río Grande (Fernández, 1986b, 1987d, 1988a, 1989).

Estructura

La Sierra de Tilcara, en el tramo comprendido entre Jaire y Volcán, fue objeto de numerosos estudios geológico-mineros; a partir de 1985, comenzamos a investigar la estructura interna del basamento metamórfico y sus relaciones con los cuerpos calcáreos y la cobertura cenozoica (Fernández, 1985, 1986b, 1987c y 1989; Fernández & Gómez Macedo, 1993). De esta manera se pudo determinar la presencia de cuatro grandes ciclos: los dos primeros tectonosedimentarios y metamórficos que abarcan gran parte del paleozoico, denominados por Aceñolaza & Toselli (1976-1981) como: *ciclo Pampeano* y *ciclo Famatiniano*. Para el ciclo Pampeano se reconocen dos fases tectónicas: F1, que afecta el basamento metamórfico (Fm. Puncoviscana) mostrando una dirección general de esfuerzos de NE-SO y F2 que afecta la Fm. Puncoviscana y la Fm. Volcán, con dirección general de esfuerzos NO-SE. Para el ciclo Famatiniano se ha determinado una tercera fase F3, desarrollada en rocas calcáreas de la Fm. Volcán y pelíticas de su Miembro Barcena, con direcciones de esfuerzos predominantes de NE-SO, y en menor cuantía N-S.

TABLA 1.

Formación	Muestreo: Sección 1a (Figura 1)										Sección 1b (Figura 1)																			
	F.P.	L.T.	F.V.	M.B.	F.V.	M.B.	F.V.	M.B.	L.T.	F.V.	M.B.	F.V.	M.B.	L.T.	F.V.	M.B.	F.V.													
Mineralogía	21	27	31	34	36	39	41	47	53	58	64	73	77	79	81	83	30	35	65	45	43	48	51							
Calcita	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Dolomita																														
Cuarzo	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Carbonatoapatito																														
Monacita	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Wavelita	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Francolita																														
Dahlita																														
Berlinita	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Collofano																														
Britholita																														
Mitridatita	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
Augelita																														
Crandallita																														
Millisita																														
Coffinita																														
Cranerita																														
Florencia																														
Caolinita																														
Halloysita																														
27	F.P. Formación Los Tilianes										F.V. Formación Puncoviscana										M.B. Miembro Barcena									
L.T.	Formación Los Tilianes										Formación Volcán																			

Luego del desarrollo de estos ciclos paleozoicos, se ha determinado un ciclo *Preandino* (Fernández, 1985, 1986b, 1987c) y un ciclo *Andino*, desarrollados en el lapso mesozoico-cenozoico y responsables del fracturamiento y construcción geomorfológica del paisaje respondiendo a grandes esfuerzos de dirección E/O (Fernández, 1987c, 1988a).

Mineralogía y Metalogénia

La metodología mineralométrica y geoquímica utilizada en el trabajo, no difiere generalmente de las usadas en este tipo de depósitos, con la salvedad de que el muestreo se realizó en cada una de las unidades descritas del precámbrico al cenozoico. El muestreo sistemático se efectuó al emplear un diseño de cuadrícula de 50 m de lado, construida en campaña, al usar estacas de madera de 50 cm de longitud y siguiendo una dirección predominante de afloramientos con anomalías fosfáticas previamente detectadas mediante métodos expeditivos (Mc Kelvey, 1967; Shapiro, 1952; Fernández, 1985). Para la

detección de anomalías radioactivas se usó un contador Geiger-Müller y un cintilómetro, al trabajar con background de 400 c.p.s. (no se incluyeron en tablas los valores obtenidos, solamente los ppm de uranio obtenidos en laboratorio). El uranio fue analizado por fluorescencia de rayos X, con reproductibilidad del 8 % y límites de detección de 25 ppm, que estandarizamos a 10 ppm para lograr uniformidad en los cálculos (Fernández, 1988a, 1989).

También para rocas se utilizaron los métodos combinados de Shapiro, Espectrofotométrico y de vía húmeda o gravimétrico, para precisar el contenido de P y de P_2O_5 (Tabla 2), mientras que los componentes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (además del CaO y MgO) se analizaron por métodos volumétricos y de absorción atómica. El F se determinó por destilación, y la pérdida al rojo de $CO_2 + H_2O + Materia Orgánica$ se determinó por calcinación. El tratamiento de las muestras con fracciones limosas y arcillosas, como el caso del Miembro Bárcena (lutitas negras) y de la Formación Los Tilianes (limos y arcillas), se realizó mediante difracción de rayos X (Cu-K α) tamizando previamente las muestras al grado 2-50 μ limo y < 2 μ arcilla (Fernández, 1986b, 1989).

TABLA 2. Muestreo geoquímico por perfiles geológicos

Formación	Muestra no.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	P_2O_5	MgO	R.I.	P	Uppm	BPL
PG (1)											
Pc	21	49,20	8,95	4,25	4,31	0,39	0,65	0,03	0,17	51,1 2	0,85
LT	27	15,51	4,11	0,85	27,3	1,05	1,85	.....	0,45	25	2,28
LT	31	17,35	5,12	1,75	30,0	2,03	2,15	0,8	0,88	15	4,42
V	34	10,31	3,15	1,03	41,5	3,39	3,11	0,03	1,48	28	7,39
V	36	9,05	4,05	4,30	30,2	4,01	1,28	.....	1,74	40	8,74
V	39	11,25	6,66	2,70	35,8	2,05	0,79	0,71	0,89	.....	4,47
MB	41	17,31	2,31	7,50	38,7	5,05	2,21	1,03	2,20	30	11,0
MB	64	20,03	7,26	1,30	47,1	7,02	3,35	0,41	3,06	70	15,3
PG (2)											
LT	73	15,20	1,04	0,35	0,8	1,07	0,57	.....	0,46	.....	2,33
V	77	9,20	11,5	3,06	54,7	2,31	0,77	0,07	1,00	40	5,03
LT	30	20,03	10,6	1,43	2,3	2,05	0,05	.....	0,90	65	4,47
MB	35	13,51	6,23	4,03	3,7	3,15	0,14	0,8	1,37	57	6,87
V	45	6,24	11,3	3,57	39,3	3,02	3,01	2,7	1,31	69	6,59
V	43	10,03	13,5	7,23	46,7	5,15	2,09	.....	2,24	78	11,2
V	48	9,89	10,3	3,02	49,6	7,35	3,67	0,81	3,20	100	16,02
V	51	21,97	15,6	2,76	37,3	9,12	2,15	1,16	4,01	115	20,07

PG(1): Perfil Geológico; Pc: Formación Puncoviscana; LT: Formación Los Tilianes; V: Formación Volcán; MB: Miembro Bárcena; R.I.: Residuo Insoluble en HCl (Ácido Clorhídrico); Uppm: Contenido de Uranio en partes por millón; BPL: Bone Phosphate of Lime: Expresión de Roca Fosfática comercial con las siguientes equivalencias:

- 1,0 % de BPL = 0,458 % de P_2O_5
- BPL = % de P_2O_5 x 2,18
- % de P = % P_2O_5 x 0,436

Algunas muestras debieron saturarse con K y Mg para obtener buenos diagramas, realizándose además, centrifugación, lavado con agua destilada y alcohol, para montaje en placas (muestras orientadas y no orientadas). Se hicieron muestreos comunes y seriados en zonas con anomalías fosfáticas obteniéndose los minerales de la Tabla 1. En dicha tabla se exponen los minerales más frecuentes de las secciones 1a y 1b de la Figura 1. Hacemos notar que en la Tabla 2 hemos referido los valores de roca fosfática en términos BPL (Bone Phosphate of Lime) para su utilización como parámetros de cálculo para un futuro aprovechamiento minero y geoindustrial, en fertilizantes (Fernández, 1989, 1995). Sin embargo, debemos aclarar la definición petrográfica de estas mal llamadas «fosforitas», en base a la clasificación propuesta por Al-Bassam *et. al.* (1988) y modificada por Fernández (1988c). Este último propone el uso de un ábaco que permite la rápida ubicación de una muestra al tener en cuenta sus porcentajes de: 1) *Ortoquímicos*: carbonatos, chert cuarzo, sulfuros (exceptuando fosfatos); 2) *Aloquímicos*: pellets, nódulos, oolitas (en las abscisas (X)); 3) *Litoquímicos*: litoclastos en general (se ubican en el eje de las (Y)) y 4) *Bioquímicos*: bioclastos, fragmentos de fósiles, materia orgánica.

De esta forma se establecen los siguientes límites:

- Mayores del 25 % de P_2O_5 = fosforitas.
- Entre 5 y 25 % de P_2O_5 = rocas fosfáticas.
- Menos de 5 % de P_2O_5 = se antepone un prefijo de acuerdo con la litología predominante (p.e. arenisca fosfática, lutita fosfática, etcétera) (Fernández, 1988c). Una vez realizada esta aclaración, podemos deducir de la Tabla 2 que las rocas estudiadas en ambas secciones responden a los límites (b) y (c) de la clasificación propuesta por Fernández (1988c), la cual también ha sido utilizada exitosamente en la descripción de los fosfatos presentes en las calizas cretácicas de la Formación Yacoraité, en la provincia de Jujuy (Fernández y Gómez Macedo (1992a)).

De esta forma los tipos litológicos predominantes son: calizas fosfáticas, lutitas fosfáticas, areniscas fosfáticas y limo-argilitas fosfáticas. Las rocas fosfáticas (calizas y lutitas), se localizan preferentemente en las formaciones Volcán y Bárcena, con mayores valores de P_2O_5 (Tabla 2), notándose un incremento de este valor hacia el este en ambas secciones (Figura 1). También es notable el incremento del valor de Al_2O_3 , lo que favorece la formación de fosfatos aluminicos como augelita y wavellita que rellenan oquedades y diaclasas producidas en calizas y lutitas en asociación con una abundante venación silícea que reemplaza a la carbonática (Fernández, 1988a, 1989).

Otro aspecto interesante es la presencia destacable de minerales radioactivos: brannerita y coffinita, asociados a venillas de wavellita y estroncianita (escasa) que atraviesan los paquetes calcáreos y lutíticos localizables en ambas secciones (Figura 1a, 1b; Tabla 1). Estudios realizados por Slansky (1979) demostraron que el agua de mar es la fuente inicial del uranio en las rocas fosfáticas, el que luego se reduce y se concentra parcialmente en

los sedimentos del fondo marino, ricos en materia orgánica (con grafito en nuestro caso), antes de formar minerales de la familia del apatito (como carbonatoapatito).

Estudios anteriores realizados por Fernández (1986a, 1987a-b, 1988a y 1989-1990) permitieron observar que las concentraciones de lantánidos y minerales de uranio se localizan en sectores donde las rocas portadoras (calizas-pizarras-lutitas) se hallan afectadas por procesos diagenéticos e intensa meteorización posterior. Este fenómeno ha producido la lixiviación y migración de diversos elementos que permitieron la liberación del flúor y el aluminio para formar asociaciones de fosfatos aluminico-cálcicos (cranallita y millsita) presentes en los perfiles relevados (Tabla 1) y fosfatos aluminicos (augelita y wavellita).

El origen de la mineralización fosfática es aún objeto de estudio a causa de las nuevas asociaciones mineralógicas y petrográficas que descubrimos a medida que avanzamos en el reconocimiento geológico del área. A pesar de ello se han intentado explicaciones y modelos metalogénicos para las formaciones Puncoviscana, Volcán y el Miembro Bárcena. Estudios realizados por Fernández (1988a-b, 1989, 1990) y Porto *et. al.* (1990) coinciden en describir la mineralización fosfática en dos tipos: Tipo (a) y Tipo (b) dentro del Metalotecto de edad precámbrico-paleozoico inferior (Sureda & Gallisky, 1987). Ambos tipos de mineralización corresponden cronológicamente con los grandes ciclos tectonosedimentarios y metamórficos de Aceñolaza & Toselli (1976-1981), ajustados a las episodios propuestas por Fernández (1988a-b y 1989a).

Ciclo Pampeano (Fm. Puncoviscana + Fm. Volcán)

- Tipo (a): Mineralización Primaria

Cuarzo-feldespatos-micas-calcita-dolomita-glaucónita y grafito.

- Tipo (b): Mineralización Epigenética (Secundaria)

Berilo-ankerita-berlinita-apatito-lantánidos (monacita, florencita y britholita) cuarzo + calcita (acompañado de sulfuros metálicos: pirita, calcopirita, blenda)-cloritas-estroncianita-micas-baritina y fosfatos aluminicos (augelita y wavellita).

El hallazgo de estructuras de reemplazo entre ciertos minerales (silíceo por carbonatos y fosfatos por minerales arcillosos: caolinita-halloysita) y los incipientes retazos de hidrotermalismo en proximidades de pequeños cuerpos pegmatoides y venillas de carbonatos reemplazados por sulfuros, corrobora lo observado en varios sectores de los perfiles estudiados (Fernández, (1987b, 1988a, 1989, 1990, 1995)).

Ciclo Famatimaniano (Fm. Volcán + Miembro Bárcena)

En base a los estudios de Sureda *et. al.* (1986), Aceñolaza & Durand (1987) y Jezek (1990), se considera que estas calizas de plataforma se originaron por procesos metabólicos de las algas y que por efectos de metamorfismo perdieron parte de sus rasgos originales.

El hallazgo de niveles estromatolíticos por parte de Fernández (1987b-d), y su relación con la presencia de glauconita, confirma en cierta medida esta idea. El color oscuro (negro-azulado) de los calcáreos y lititas se debe a fenómenos de reducción de la materia orgánica y al aumento en la proporción de grafito y sulfuros metálicos, seguido a la vez de una notable disminución de las proporciones de Mg (dolomita) y un aumento de F (Rayces, 1969; Fernández, 1987b).

En este ciclo fosfatogénico, la mineralización es del tipo (b) o epigenética, que es rica en fosfatos de variados cationes (incluyendo los portadores de lantánidos y uranio) ver Tabla 1. Debemos recordar que desde el cámbrico medio al ordovícico inferior, la región noroeste de Sudamérica constituía una elevada área de aporte (Macizo de Arequipa) y en nuestro territorio se encontraba el Cratógeno central (Aceñolaza, 1986; Fernández, 1988b, 1989). En posición intermedia entre ambos macizos se localizaban extensas áreas de plataforma, donde se sucedieron varios ciclos transgresivos y regresivos del mar, muy bien documentados por trabajos de Cook & Mc Elhinny (1979), Terrones (1984), Fernández (1986c, 1989a-b) y Aceñolaza (1992).

Ciclos Preandino y Andino

Engloban todos los procesos de posterior tectonización y arrasamiento producidos por la actividad orogénica mesozoica y cenozoica, que desactiva en parte los ciclos fosfatogénicos descritos. Con respecto a las anomalías reconocidas en sedimentos cuaternarios de la Formación Los Tilianes, las mismas responden a un típico esquema de perfil de meteorización, donde se observa lo siguiente:

- La desintegración de la roca fosfática aumenta considerablemente los valores de SiO_2 y Al_2O_3 en la costra superficial, debido a la formación de minerales de arcillas (Fernández, 1988a, 1989).
- Un aumento del porcentaje de óxidos de hierro, formándose limonita y goethita por alteración de la glauconita, y sulfuros metálicos (pirita y calcopirita).
- También se destaca la disminución del Ca en superficie, encontrándose las anomalías calcáreas debido a la costra de carbonato que hace las funciones de ligante (matrix + cemento) de los fanglomerados.
- Asimismo, en menos de 2 m de profundidad de la «costra de meteorización» el porcentaje de P_2O_5 disminuye desde 7 % (roca fresca) hasta 1 % (en superficie), notándose que los valores anómalos de P, superiores al 1 %, se deben a redepositaciones nodulares dentro de la masa ligante calcárea de los fanglomerados de la Formación Los Tilianes (Fernández, 1985, 1988a, 1989).

RECOMENDACIONES FINALES

A manera de conclusión podemos decir que la prospección de fosfatos y sus posibilidades económicas en la provincia de Jujuy, continúa alentando nuevas investiga-

ciones debido a lo interesante de sus guías mineralógicas y a las potenciales localizaciones para nuevas prospecciones en zonas de basamento metamórfico de bajo grado.

Un programa de trabajo que contemple inversiones tendientes a lograr estudios detallados (perforaciones dirigidas, calicatas de muestreos, etcétera) nos permitirá disponer de información más concluyente sobre la importancia de las reservas de mineral con vistas a su futuro aprovechamiento económico.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a las personas e instituciones que colaboraron en la realización de este trabajo, Dr. Luis Spalletti (Univ. Nac. de La Plata), Dr. Sergio Gorustovich (C.N.E.A. Salta), Dr. Edgar Gutiérrez (Univ. Mayor de San Simón, Cochabamba-Bolivia), Ing. Silvia Brandán, del Laboratorio de Química Aplicada de la Univ. Nac. de Tucumán (UNT), Departamento de Graduados de la U.N.S.T.A. y al geólogo Álvaro Gómez Macedo, por su ayuda en los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEÑOLAZA, F.G.: *The Tremadocian beds and the cambrian-ordovician boundary problems in Latin America. Papers for the Cambrian-Ordovician and Ordovician-Silurian Boundaries Symposium. Nanjing*, pp. 88-93, China, 1983.
- : «Los estratos tremadocianos y el problema del límite cambro-ordovícico en Latinoamérica», *Rev. Inst. Geol. y Min. Jujuy*, no. 6, pp. 7-12, 1986.
- : «El sistema ordovícico de Latinoamérica», en: *Paleozoico inferior de Ibero-América*, pp. 85-118, Univ. de Extremadura, España, 1992.
- ACEÑOLAZA, F.G. and G.F. ACEÑOLAZA: *The genus Jujuyaspis as a world reference fossil for the cambrian - ordovician boundary. 6th Int. Symp. on the ordovician system*, pp. 1-6, Univ. Sidney, Australia, 1991.
- ACEÑOLAZA, F.G. y F.R. DURAND: *Paleontología del Límite precámbrico-cámbrico de Argentina*, 10mo Congreso Geol. Argentino S.M. de Tucumán, Actas I, pp. 315-320, Argentina, 1987.
- ACEÑOLAZA, F.G. y A.J. TOSELLI: *Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el paleozoico inferior del noroeste Argentino*, 2do. Congreso Latinoamericano de Geol. Caracas, Actas 2, pp. 755-763, Venezuela, 1976.
- : *Geología del Noroeste Argentino*, Publ. Esp. Fac. Ccias. Naturals. Universidad Nacional de Tucumán 1287, S.M. de Tucumán, Argentina, 1981.
- Al-Bassam et. al.: *Petrographic classification of phosphates components in phosphorites. A preliminary proposal for east Mediterranean deposits*, NEWSLETTER, vol. 19, pp. 22-23 (IGCP-165 Project) Florida, USA, 1988.
- ADAMS, CH.; H. MILLER y A.J. TOSELLI: «Nuevas edades de metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NW de Argentina», en: *El ciclo Pampeano en el noroeste Argentino*, serie Correlación Geológica, no. 4, pp. 209-219, Univ. Nac. de Tucumán (UNT), República Argentina, 1990.
- BALDIS, B.A. y R. OMARINI: *El Grupo Lerma (precámbrico-cámbrico) en la comarca central salteña y su posición en el borde Pacífico*

- Americano*, 9no Congr. Geol. Argentino S.C. de Bariloche, Actas I, pp. 64-78, República Argentina, 1984.
- BORDONARO, O.L.: «El cámbrico de Sudamérica», en: *Paleozoico inferior de Ibero-América*, Univ. de Extremadura, pp.69-84. España, 1992.
- BORRELLO, A.V.: *Los geosinclinales de la Argentina*, Dir. Nac. Geol. y Min., Anales, no. 25, 188 pp., Buenos Aires, República Argentina, 1969.
- COOK, P.J. and M.W. Mc ELHINNY: «A reevaluation of the spatial and temporal distribution of sedimentary phosphate deposits in the light of plate tectonics», *Economic Geology*, vol. 74, pp. 315-330, USA, 1979.
- DURAND, F.R.: *Avances y problemas en la definición del límite precámbrico-cámbrico en el noroeste Argentino*, serie Correlación Geológica, no. 9, pp. 127-137, Univ. Nac. de Tucumán (UNT), República Argentina, 1992.
- FERNÁNDEZ, R.I.: *Geología y estructura de los depósitos calcáreos de Volcán y Cantera Bárcena*, pp. 60, Informe CONICET (inédito), Departamento de Tumbaya, provincia de Jujuy, Argentina, 1985.
- : *Nuevos minerales fosfáticos en dos localidades de la Cordillera oriental de la provincia de Jujuy, Argentina*, 8vo Congr. Geol. de Bolivia, Actas I, pp. 1-12, La Paz, 1986a.
- : *Importancia de ciertos minerales de arcillas en fenómenos neotectónicos de la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, Argentina*, Simp. Internac. Neotec. y Riesgos Volcánicos, Bogotá, Actas I, pp. 404-420, Colombia, 1986b.
- : *Fosfatos sedimentarios en el ordovícico de la provincia de Jujuy, República Argentina*, 9no Simp. Intern. of Phosphatic Rocks, Caracas, Actas I, pp. 1-30, Venezuela, 1986c.
- : *Phosphatic minerals in precambrian-lower cambrian basin of northwestern Argentina republic*, 10th Intern. Simp. Phosphorites, Tunisia, pp. 1-5, 1987a.
- : *Nuevos hallazgos de minerales fosfáticos en el sector austral de la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, Argentina*, 4to Congr. Peruano de Geol., Actas II, pp. 1-16, Lima, 1987b.
- : *Estructura interna de las Formaciones Puncoviscana y Volcán, en la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, Argentina*, 4ta Reunión Arg. de Microtect., Actas I, pp. 34-41, San Juan, República Argentina, 1987c.
- : *Bioestratigrafía de la región comprendida entre las localidades de Volcán y Bárcena*, Dpto. Tumbaya, provincia de Jujuy, Argentina, 4to Congr. Latinoamer. de Paleontología, Santa Cruz de la Sierra, Actas I, pp. 75-87, Bolivia, 1987d.
- : *Aportes a la mineralogía de la Formación Volcán en el tramo inferior de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, Argentina*, 5to Congr. Geol. Chileno, Santiago de Chile, Actas II, pp. E97-E114, Chile, 1988a.
- : *Los ciclos fosfatogénicos del precámbrico y paleozoico inferior de la provincia de Jujuy, República Argentina*, Actas 3er Congr. Nac. de Geol. Econom. Olavarría, pp.1-16, Buenos Aires, 1988b.
- : *Ensayo de clasificación de rocas fosfáticas y fosforitas del ordovícico de la provincia de Jujuy, Argentina*, 2da Reunión Arg. de Sediment, Actas I, pp. 86-89, Buenos Aires, 1988c.
- : *Síntesis microtectónica del ciclo Pampeano en el tramo inferior de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, Argentina*, Actas 5ta Reunión Arg. de Microtectónica, Córdoba, pp.1-8, República Argentina, 1988d.
- : *Prospección de rocas fosfáticas en la ladera occidental de la Sierra de Tilcara. Margen izquierda de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, Argentina*, Actas 2do Congr. Internac. de Minería, Loja, pp. 1-19, Ecuador, 1989.
- : *Phosphatogenetic cycles in northwestern of Argentina Republic*, 28th Intern. Geol. Congress. Washington D.C. (Short Paper), 1, 199a.
- : *Hallazgos de lantánidos en calizas de la Formación Volcán (Cámbrico S.L.) de la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, República Argentina*, Actas Primeras Jornadas de Tierras Raras, Fac. Ccias. Exact. Fis. y Nat. Univ. Nac. de Córdoba, pp.1-5, Argentina, 1990.
- : *Los fosfatos en Argentina: Su importancia estratégica para el desarrollo socioeconómico de la región del noroeste Argentino*, World Mining (en prensa), 1995.
- : *Nuevos hallazgos de lantánidos en calizas de la Formación Volcán (Cámbrico s.l.) en Cerro Bayo, provincia de Jujuy, República Argentina*, 2da Jornada de Comun. Intern. Fac. Ccias. Nat. e Inst. M. Lillo, Univ. Nac. de Tucumán (UNT), pp. 27, 1995a.
- FERNÁNDEZ, R.I. y R.L. DIAZ TADDEI: *Características bioestratigráficas y estructurales de la Formación Puncoviscana (precámbrico-cámbrico inferior) en la Cordillera oriental del noroeste Argentino*, Actas 7mo Congr. Geol. de Bolivia, pp. 1-14, Cochabamba, Bolivia, 1984.
- FERNÁNDEZ, R.I.; C.A. BAZÁN y M. CARRIÓN: *Caracteres geológicos y estructurales del yacimiento «Agua Chica», Departamento de Tumbaya, provincia de Jujuy, República Argentina*, 9no Congr. Geol. de Bolivia, pp.1-3, Cochabamba, Bolivia, 1989.
- FERNÁNDEZ, R.I. y A. GÓMEZ MACEDO: *Microtectónica y mineralización fosfática en la cantera Agua Chica, Departamento de Tumbaya, provincia de Jujuy, Argentina*, Actas 7ma Reun. Microtect. Bahía Blanca, pp.15-22, Buenos Aires, República Argentina, 1992.
- : *Prospección de niveles fosfáticos en la Formación Yacoraite (cretácico superior) en Corral Blanco, Departamento de Humahuaca, provincia de Jujuy, Argentina*, 4to Congr. Nac. y I Congr. Latinoam. de Geol. Econom., Actas I, pp. 364-371, Córdoba, República Argentina, 1992a.
- : *Nuevas observaciones microtectónicas en la ladera occidental de la Sierra de Tilcara, provincia de Jujuy, República Argentina*, Actas 8va Reun. Arg. de Microtect., San Carlos de Bariloche, pp. 71-74, República Argentina, 1993.
- FOLK, R.: *Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphills*, Ed. Austin, USA, 1968.
- IZA, A.: *Informe sobre las canteras de calizas: Volcán-Bárcena-Maimará-Chiappa-Finca El Boni-Quebrada de Juella- y Agua Chica*, Carpeta no.41 (Inédito) Dir. Pcial. de Minería, San Salvador de Jujuy, República Argentina, 1970.
- JEZEK, P.; A. WILLNER; F.G. ACEÑOLAZA and H. MILLER: *The Puncoviscana trough a large Basin of Late precambrian-to early Cambrian age on the Pacific age of the Brazilian shield*, Geol. Rsch., vol. 74, pp. 573-584, Stuttgart, Alemania, 1985.
- JEZEK, P.: «Análisis sedimentológico de la Formación Puncoviscana entre Tucumán y Salta», en: *El ciclo Pampeano en el noroeste Argentino*, serie Correl. geol., no.4, pp. 9-36, Univ. Nac. de Tucumán, República Argentina, 1990.
- KOROLYUK, J.: *Subdivision of the precambrian and cambrian of east Siberia according to stromatolites*, 21th Intern. Geol. Congr., vol. 8, pp. 57-63, URSS, 1960.
- LOSS, R. and A. GIORDANA: *Observazioni sul Proterozoico di Jujuy (Argentina)*, Att. Soc. Ital. Sci. Nat. e Mus. Storia Nat, Milano, vol. 95, pp. 141-189, Italia, 1952.
- MC KELVEY, V.: *Nuevas técnicas en la prospección para yacimientos de Fosfatos*, Bol. Serv. Geol. Nac. de Colombia, vol. 15, nos. 1-3, pp. 45-64, Bogotá, Colombia, 1967.

- NAVATTO, H.: *Estructura geológica y geología económica de la Cautera Bárcena*, Informe inédito (Compañía Minera PUNCARA S.A.-Minera TEA), Córdoba, República Argentina, 1975.
- PORTO, J.C.; R.I. FERNÁNDEZ y M.H. CARRIÓN: «Calizas y dolomitas de la Formación Puncoviscana S.I.», en: *El Ciclo Pampeano en el noroeste Argentino*, serie Correlación Geológica, no. 4, pp. 37-52, Univ.Nac. de Tucumán (UNT), San Miguel de Tucumán, Argentina, 1990.
- RAYCES, E.C.: *El yacimiento cuprífero «Chorro»*, Departamento Tumbaya, provincia de Jujuy, 4ta Jornada Geol. Arg., Actas I, pp. 485-508, Buenos Aires, Argentina, 1969.
- SCANAVINO, R. y M. GUICHÓN: «Observaciones geológicas en la Quebrada de Santuyo, Volcán (Dpto. Tumbaya)», Jujuy, rev. *Mus. La Plata* (nueva serie), vol. 7, pag. 39-50, Buenos Aires, Argentina, 1972.
- SHAPIRO, L.: *Simple field method for determination of phosphate rocks*, Amer. Min., vol. 37, pp. 341-352, USA, 1952.
- SLANSKY, M.: *Repartition et possibilités de concentration de l'uranium dans les phosphates sédimentaires*, Uranium Deposits in Africa, Geology and Exploration, OIEA, pp. 239-249, Vienna, Austria, 1979.
- SPALLETTI, L.A.: *Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas*, Asoc. Geol. Arg., serie B. Didáct. y Complement, no. 8, pp. 175, Buenos Aires, 1980.
- STEEL, R.J.: *Coarsening-upward cycles in the alluvium of Hornelen Basin (Devonian) Norway: Sedimentary response to tectonic events*, Geol. Soc. Am. Bull., vol. 88, no. 8, pp. 1124-1134, 1977.

- SUREDA, R.; M. GALISKY; P. ARGANARAZ y J. DAROCA: «Aspectos metalogenéticos del noroeste Argentino (provincias de Salta y Jujuy)», rev. *Capricornio I*, pp. 39-95, Univ. Nac. de Salta (UNSA), República Argentina, 1986.
- SUREDA, R. y M.A. GALLISKY: *La metalogenia del norte Argentino: Criterios para la elaboración del mapa metalogénico de Salta y Jujuy*, 10mo Congr. Geol. Arg. San Miguel de Tucumán, Actas I, pp. 51-55, 1987.
- TERRONES, A.J.: «La potencialidad de los recursos minerales de América Latina», rev. *Asoc. Arg. de Geol. Econom.*, vol. 3, pp. 22-83, Buenos Aires, 1984.
- TOSELLI, A.J. y K. WEBER: *Anquimetamorfismo en rocas del paleozoico inferior del noroeste Argentino. Valor de la cristalinidad de Illita como índice*, Acta Geol. Lilloana, vol. 16, no. 1, pp. 187-200, San Miguel de Tucumán, República Argentina, 1982.
- TOSELLI, A.J.: «Determinación preliminar del grado metamórfico en base a la cristalinidad de Illita en algunas localidades del noroeste Argentino», rev. *Inst. Ccias. Geol. Jujuy*, vol. 4, pp. 19-26, Univ. Nac. de Jujuy (UNJu), San Salvador de Jujuy, República Argentina, 1981.
- : «Metamorfismo del ciclo Pampeano», en: *El ciclo Pampeano en el noroeste Argentino*, serie Correl. Geol., no. 4, pp. 181-197, Univ. Nac. de Tucumán (UNT), Argentina, 1990.
- TURNER, J.C.: *Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y Adyacencias*, Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, vol. 41, no. 2, pp. 163-169, Córdoba, República Argentina, 1960.
- TURNER, J.C. y R. MON: «Cordillera oriental», en: *2do Simposio de Geol. Reg. Argentina J.C. Turner*, Actas I, pp. 13-56, Ed. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, República Argentina, 1979.

MOA

La ciudad del níquel

LE OFRECE
LA POSIBILIDAD
QUE Ud. ESPERA

Características geoquímicas de la mineralización cromífera del yacimiento Cayo Guam, Moa, Holguín, Cuba (Primera Parte)

Dr. C. José Nicolás Muñoz Gómez

Instituto Superior Minero Metalúrgico. Las Coloradas. Moa. Holguín. Cuba

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Cayo Guam está localizado en el angosto valle del río del mismo nombre; el campo menífero está integrado además, por el yacimiento Cromita y pequeñas manifestaciones minerales tales como: Narcizo, Las Deltas y otras de menor importancia.

En la década de los cuarenta el área fue estudiada por Thayer (1942)²⁰ y Guild y Albear (1947)⁹, años más tarde los yacimientos cromíferos se investigaron por Kenarev y Murashko (1963)¹², Dzuberá (1974)⁵ y más recientemente por E. Fonseca *et. al.* (1991)⁶; C.V. Guerra *et. al.* (1995)⁹ y J.N. Muñoz Gómez (1997)¹⁷.

El yacimiento se localiza desde el punto de vista geológico en las litologías cumulativas ultramáficas muy próximas a los cúmulos máficos; petrológicamente las rocas ultramáficas están integradas por: harzburgitas serpentinizadas, dunitas enstatíticas y dunitas serpentinizadas, el complejo cumulativo gabroide está representado por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas y noritas. (E. Fonseca *et. al.*, 1991)⁶ y (C.V. Guerra *et. al.*, 1995)⁹. En sentido general las litologías ultramáficas se presentan estratificadas y la mayoría de los cuerpos minerales, en forma de lentes, son concordantes con las litologías encajantes. En cambio, los diques de gabro-pegmatitas son cortantes a las litologías presentes, así como a la mineralización cromífera, siendo los mismos más abundantes en los cuerpos minerales cromíferos, tal como había sido señalado por Guild (1947)⁹, Thayer (1942)²⁰ y Muñoz Gómez (1995)¹⁸. La mineralización cromífera está rodeada por dunitas y dunitas serpentinizadas las que localmente transicionan a dunitas enstatíticas y a harzburgitas serpentinizadas. Thayer (1942)²⁰ y Guild (1947)⁹ habían coincidido en la presencia de texturas planas, destacando que las mismas son paralelas a la foliación de las peridotitas. La composición química de la mineralización cromífera es muy similar entre los cuerpos minerales, por lo que a consideración de Thayer (1942)²⁰ y de Guild (1947)⁹ se trataba de un solo cuerpo mineral lentiforme que fue cortado y desplazado por fallas, como sucede con el cuerpo mineral Franklin, cuerpo casi isométrico, podiforme, completamente limitado por fallas. (P. Guild y J.F. Albear, 1947)⁹.

La mineralización cromífera masiva en los cuerpos minerales se acompaña de sulfuros tales como: pirita, calcopirita y millerita, como ha sido expuesto por E. Fonseca *et. al.* (1991)⁶. También se han identificado fases de mineralización de los elementos del grupo del platino, representado en la serie isomórfica laurita-erlichmanita (V.V. Distler, H.J. Falcón, J.N. Muñoz Gómez, M. Campos Dueñas, 1989)⁴ y (J.N. Muñoz Gómez *et. al.*, 1991)¹⁷.

En el artículo se recogen las principales características geoquímicas del yacimiento Cayo Guam. Su objetivo fundamental es analizar el comporta-

RESUMEN: En el presente artículo, se recogen las principales características geoquímicas de la mineralización cromífera en el área del yacimiento Cayo Guam, Moa. En esta primera parte se exponen los resultados geoquímicos de la mineralización cromífera de las menas masivas que conforman el yacimiento Cayo Guam propiamente dicho e incluye las espinelas cromíferas masivas de las manifestaciones: Cromita y Narcizo. Se estudiaron las relaciones geoquímicas entre los componentes principales: Cr₂O₃, Al₂O₃, FeO, MgO y los microcomponentes, fundamentalmente con los contenidos de titanio, en forma de dióxido de titanio (TiO₂) y del FeO y su incidencia en las consideraciones genéticas de la mineralización cromífera en este campo mineral. Se demuestra el carácter podiforme de la mineralización cromífera. Finalmente, se relacionan los principales resultados geoquímicos, los cuales se publicarán completamente en la segunda parte del trabajo.

ABSTRACT: In the present paper, the first part, includes the main geochemistry characteristic of the massive chromite spinels from the Cayo Guam chromite ore deposit; besides it was studied the massive ore chromite spinels from "Cromita" and "Narcizo" outcrops, near the Cayo Guam ore deposit. It was studied the main relations between the oxides, i.e. Cr₂O₃, Al₂O₃, FeO, MgO content. In detail were analyzed the TiO₂ and FeO content. Refractory chromites ores (44,5 - 35,6 wt% Cr₂O₃; 29,5 - 21,2 wt% Al₂O₃) are typically podiform chromite. The geochemistry of accessory chrome spinels in various peridotites and mafic cumulates will be included in the second part of the work.