

Niveles fosfáticos en los depósitos del Cámbrico superior en el área de San Isidro, Precordillera de la provincia de Mendoza, Argentina.

Mercedes DI PASQUO y Liliana CASTRO

*U.B.A., Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria,
Pabellón II, 1 piso, 1428 Nuñez, Buenos Aires, Argentina.*

Resumen. Los niveles fosfáticos del Cámbrico superior, intercalados en una secuencia de aproximadamente 20 metros de espesor, están localizados en la margen derecha de la quebrada de San Isidro, 20 Km al oeste de la ciudad de Mendoza. Este trabajo presenta la primera mención del evento fosfogénico del Cámbrico superior en la Precordillera de Argentina, el cual se correlaciona con uno de los períodos fosfogénicos del Fanerozoico del mundo.

Estos fosfatos se encuentran como costras fosfáticas y peloides de color negro en las calizas finas que se intercalan con lutitas oscuras, formando una secuencia rítmica de origen marino. La composición química de los fosfatos es carbonato-fluor-apatita, formado durante la diagénesis de las calizas.

La presencia de mudstones y arcilitas calcáreas laminadas ricas en materia orgánica junto con la fauna típica cosmopolita representan condiciones de baja energía y bajo contenido en oxígeno que corresponderían a un ambiente de talud de pendiente suave (menor a 2°) y plataforma externa. Las arcilitas silíceas con fauna planctónica serían características de un ambiente más profundo. Esto sugeriría al menos moderadas fluctuaciones del nivel del mar durante el Cámbrico superior.

Aunque el volumen de los depósitos considerados no es económico, estos niveles pueden ser usados como guías litológicas para la búsqueda de otros depósitos.

Palabras claves: Niveles fosfáticos, Cámbrico, Precordillera, Mendoza.

Key words: Phosphatic levels, Cambrian, Precordillera, Mendoza.

EXTENDED ABSTRACT

Upper Cambrian phosphatic layers intercalated in an about 20 meters thick sequence, are located in the right margin of San Isidro Creek (San Isidro area), 20 Km west of Mendoza City (Fig. 1).

This paper represents the first description of an Argentinian phosphogenic event of Upper Cambrian age, which correlates with one of the World's major Phanerozoic phosphogenic episodes. Leanza et al. (1986) documented Argentine phosphorite episodicy

and palaeolatitudinal distributions that coincide with most global phosphogenic events. However, although they recognized the Cambrian as a major phosphogenic period, no accumulation of phosphorite were identified in the study area.

The first purpose was to establish several favorable areas for prospecting phosphate based on the analyses of lithological facies and palaeoenvironments and the use of palaeomagnetical data. One of these areas was the Upper Cambrian Precordillera of Mendoza Province, which was

located approximately around 20° paleolatitudinal position (Valencio et al., 1980).

The second objective was to propose a genesis for the prospected phosphates and the relationship with other known deposits in the world. Finally, we try to contribute with new data for palaeogeographic model reconstructions.

The results of microfacies analyses undertaken by di Pasquo (1993) are consistent with Bordonaro (1985) who had defined the depositional environment of this deposits as a "condensed section type" of continental slope facies.

According to di Pasquo (1993), this unit consists of dark brown laminated and rhythmic claystones (LC1), mudstones (LC2) containing pyrite and highly carbonized organic matter and subordinated wackstones (LC3).

The layers are composed mainly of clay minerals (illite-smectite), calcite and quartz with subordinate phosphate minerals. The latter are concentrated chiefly in the phosphorite layer (LC2), but also occur in small amounts in the intercalated limestones (Fig. 2). Phosphates occur as coated grains, phosphatized grains and peloids of different sizes, from several mm to a fraction of mm in diameter. Bioclasts (LC2) consist of well preserved trilobite tests which show an incipient phosphatization and phosphatic brachiopoda tests (*Lingula sp?*).

The green claystone facies (LC4) is composed mainly of illite and quartz, and contains no carbonate. Silicaspheres (replaced radiolarians?), trilobite fragments, and conodonts are the principal bioclastic particles. This layers is intercalated between mudstones. The phosphate is composed of isotropic carbonate fluorapatite associated with anisotropic francolite. The latter seems to occur as a replacement of bioclasts and carbonate debris.

The results of the chemical analyses of the phosphatic levels suggest that there are essentially two groups of major oxides: those which are located predominantly within the apatite lattice (CaO, Na₂O, P₂O₅ and CO₂), and those located in other minerals, mainly of chemical (CaO, CO₂) or detrital origin (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, K₂O). Clay minerals chiefly, and occasionally feldspars host the bulk of K₂O, SiO₂ and Al₂O₃, whereas the main source of CaO and CO₂ is the micrite-sparite present in the recrystallized matrix which probably precipitated prior to the phosphatization of the layer. SEM analyses indicate that the phosphatic particles in

the bulk samples are composed of Si, Ti, Al, Ca, K, P, S and Cl.

The general results for the deposition of this marine sequence are summarized as follows:

(1) Organic-rich laminated mudstones and claystones of this deposit together with typical cosmopolitan fauna suggest a low energy and low oxygen conditions that accumulated mainly on a gentle low angle slope (< 2°) and outer shelf. Siliceous claystones with planktonic fauna that indicate a deeper environment, suggest at least moderate fluctuations of the sea level during the Late Cambrian (di Pasquo, 1993; Fig. 2).

(2) The black shale-chert-phosphorite assemblage observed, is generally taken to indicate a marine upwelling environment (Cook & Shergold, 1986).

(3) Petrographic evidences indicate that the phosphatization of the mudstone would have occurred during the early diagenesis by replacement of carbonate ion by phosphate ion in the sediment layer from Cambrian sea-waters enriched in phosphorus, as proposed by Cook et al. (1990).

This replacement is associated with a low rate of marine clastic sedimentation, which allows chemical or biochemical sedimentation to become dominant during some intervals.

(4) The abundance of phosphorites around the Proterozoic-Phanerozoic transition, and the implication that this is the result of a major phosphogenic episode (or episodes), is consistent with a major change in the phosphate content of the ocean at this time. The circulation of deep phosphorus-rich ocean waters into the shallow photic zone and a sea-level rise at this same time may also have been a contributing factor. The phosphatization of some levels of the mudstones facies (LC2) have not occur at the beginning of a transgression, but at a time when the sea depth in the shelf zone reaches a sufficient depth, in comparison with Eganov's results (Eganov, fide Cook & Shergold, 1979).

(5) According to Cook (personal communication), the Precordilleran occurrences appear to be similar to northern Australian deposits where fossil fragments and the presence of siliceous intervals and chert nodules in the underlying levels are common features. On the other hand, the symmetric distribution of depositional facies, the existence of common fauna during Cambrian together with paleogeographical reconstruction based on paleomagnetic data are features that give the idea that both Appalachian and

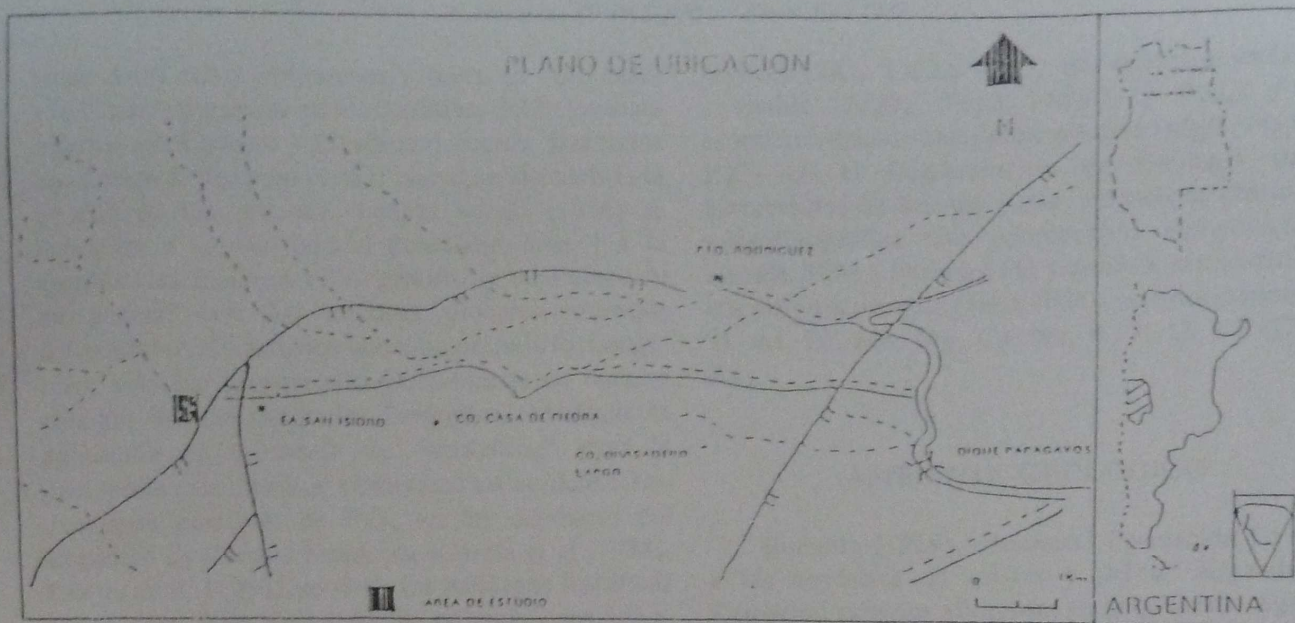


Figura 1. Ubicación geográfica del perfil del Cámbrico superior estudiado.
Figure 1. Location sketch map of the Upper Cambrian section.

Precordilleran basin were close during the co-Palaeozoic times (Sellés Martínez, 1988; Dalla Salda et al., 1992 a, 1992b, 1993; Dalziel, 1991, 1993; Ramos et al., 1993, and Benedetto, 1993). With this in mind, we would suggest that the phosphorite occurrences in the Precordillera must have been linked with those in the Appalachian (Mathieu, W., 1893 y Mathieu, G., 1903, fide Christie & Sheldon, 1986), although the information on the latter deposits is sparse. This would be other element to take into account in the relation between Gondwana and Laurentia.

(6) Middle and Upper Cambrian phosphate deposits are relatively minor compared to those in the lower Cambrian (Cook, 1992). The occurrences studied to date are uneconomic, but they may serve as lithologic guide for major deposits of Cambrian age in Argentina.

INTRODUCCION

En este trabajo se presentan los resultados de la primera mención del evento fosfático argentino para el Cámbrico superior en la Precordillera de Argentina, el cual corresponde a uno de los períodos fosfógenicos del Fanerozoico (Cook & McElhinny, 1979).

El primer objetivo fue localizar depósitos

fosfáticos, sobre la base de datos paleomagnéticos (Valencio et al., 1980; Conti & Rapalini 1993), que permitieron establecer la configuración de tierra-mar para este período. Estos análisis junto con los datos litológicos y paleoambientales dieron como resultado varias áreas favorables para la prospección de fosfatos. Una de estas regiones corresponde al Cámbrico superior de la Precordillera de la provincia de Mendoza. En este trabajo se estudian los depósitos de esa edad ubicados en el área de San Isidro, la cual se encontraba alrededor de los 20° de paleolatitud (Valencio et al., 1980).

En segundo lugar se analizó la génesis de los fosfatos hallados en estos depósitos y su vinculación con otras manifestaciones en el mundo, aportando nuevos datos para la construcción de modelos paleogeográficos.

ANTECEDENTES

Desde 1970 muchos trabajos fueron publicados como resultado de investigaciones realizadas con el apoyo del Servicio Geológico Minero Nacional dentro del Programa llamado "Plan Fosforitas". Mastandrea et al. (1982) sintetizaron la prospección sistemática de fosfatos sedimentarios dentro de las diferentes cuencas de sedimentación marina, apor-

tando datos sobre volúmenes y leyes en cada caso. Los fosfatos presentes en los depósitos del Paleozoico inferior (Ordovícico - Devónico) fueron descritos por García & Rossello (1983) consignando además la génesis de los mismos. Leanza et al. (1986) se refirieron a la distribución paleolatitudinal y a la episodidad fosfática en Argentina, la cual coincide en general con los eventos globales. Aunque consideraron al Cámbrico como un período fosfatogénico, sólo fue prospectado parcialmente en nuestro país sin obtener resultados favorables. Mediante la aplicación de la teoría de "upwelling" para la prospección de fosfatos sedimentarios se detectaron anomalías positivas de P_2O_5 en los depósitos del Cretácico de Cuenca Neuquina (García et al., 1988). Leanza et al. (1989) resumen los hallazgos fosfáticos en el país a lo largo de la columna geológica. También se han prospectado fosfatos en plataforma actual (Castro, 1992). Previo a este trabajo se efectuó un análisis preliminar para la búsqueda de fosfatos sobre las secuencias del Cámbrico superior de la Precordillera de Mendoza arrojando resultados favorables en ciertos niveles (Castro & di Pasquo, 1993). Estos estratos marinos con fosfatos a los cuales se hace referencia están localizados en la margen derecha de la quebrada de San Isidro, a 20 Km al oeste de la ciudad de Mendoza (Fig. 1).

Por otro lado, las investigaciones seguidas por Sheldon (1964, 1980, 1981), Riggs (1979), Cook & McElhinny (1979), Bentor (1980), Baturin (1982), Cook & Shergold (1986), Garrison (1992) y muchos otros, no sólo proveyeron modelos sobre la génesis de los fosfatos, sino también conceptos de episodidad, paleolatitud y distribución paleogeográfica de los mismos.

METODOLOGIA DE TRABAJO

Las muestras fueron recolectadas de capas representativas del perfil estratigráfico (Fig. 2). Las diferentes microfacies, sus relaciones y asociaciones fueron definidas teniendo en cuenta la composición y textura del sedimento y la variación faunística.

Los minerales fueron estudiados mediante métodos petrográficos estandar y difracción de rayos X (Departamento de Geología, UBA). Para el reconocimiento rápido de fosfatos sobre roca y cortes, se usó Alizarina S con cloruro de circonilo. Los constituyentes mayoritarios y minoritarios fueron por vía

húmeda (SiO_2 , CaO y CO_2), por espectrometría UV - visible (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO_2 y P_2O_5) y por espectrometría de absorción atómica (MgO , Na_2O , y K_2O) en el Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires. Además se efectuaron microfotografías con microscopio electrónico de barrido SEM (Philips 515) y análisis semicuantitativos con microsonda (Edax 9100) reconociéndose Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cl y S (CITE-FA).

AMBIENTE GEOLOGICO

Borrello (1969), denominó Formación La Cruz a los depósitos de calizas y pelitas asignados al Cámbrico superior aflorantes en la quebrada Agua de la Cruz, que presentan un espesor máximo de 100 m. Ultimamente Bordonaro et al. (1993) reinterpretaron a estos depósitos como bloques alóctonos con fauna de trilobites del Cámbrico superior incluidos en las pelitas de la Formación Empozada, anulando a la Formación La Cruz como unidad litoestratigráfica, por carecer de identidad litológica propia.

Los resultados del análisis de microfacies expuesto por di Pasquo (1993) coinciden con Bordonaro (1985), que definió el ambiente depositacional de esta unidad como secuencias condensadas en facies de talud continental.

La Orogenia Pamatiniana (Cámbrico - Devónico) principalmente la Andina (Jurásico temprano - Terciario) plegaron y fracturaron a estos depósitos.

DESCRIPCION DE FACIES SEDIMENTARIAS

De acuerdo con di Pasquo (1993), la unidad representada en la figura 2 consiste en una secuencia rítmica y monótona de lutitas (LC1), mudstones (LC2) y escasos wackstones (LC3) según la clasificación de Dunham (1962) y arcilitas (LC4) que se describen a continuación:

LC1: lutitas y arcilitas subordinadas de color castaño oscuro a negro, laminadas o macizas, que contienen materia orgánica carbonizada y pirita.

LC2: mudstones de color castaño oscuro a gris oscuro macizos y compactos con materia orgánica. Algunos niveles presentan fauna de trilobites agnóstidos de pequeñas dimensiones, en buen estado de conservación. En estos niveles se concentran los



Figura 3a. Costras, peloides y clastos fosfatizados de diferentes tamaños dentro de una matriz pseudoesparítica, con pseudolaminación (LC2). Barra de escala = 1,6 mm.

Figure 3a. Coated grains, peloids and phosphatized clasts of different sizes, in a pseudosparite matrix with pseudolamination (LC2). Scale bar = 1.6 mm.

Figura 3b. Granos fosfáticos dentro de un matriz pseudoesparítica con escasos granos de cuarzo y feldespato (LC2). Barra de escala = 0,04 mm.

Figure 3b. Phosphatic grains with scarce quartz and feldspar grains, in a pseudosparite matrix (LC2). Scale bar = 0.04 mm.

Figura 3c. Costras fosfáticas en general sin estructura interna, pero algunos conservan el núcleo carbonático original. En el sector central se observa una conchilla de braquiópodo fosfático (LC2). Barra de escala = 0,04 mm.

Figure 3c. Coated grains which are mostly structureless but some of them conserve the original carbonate core. In the center a brachiopod test (LC2). Scale bar = 0.04 mm.

Figura 3d. Agregados fosfáticos microhotroidales compuestos por finas partículas de CFA cristalino, escasos feldspatos y bioclastos fosfáticos. Barra de escala = 0,3 mm.

Figure 3d. Clotts of dark phosphate which are agglomerates of fine particles of crystalline CFA, scarce feldspars and brachiopods's bioclasts (LC2). Scale bar = 0.3 mm.

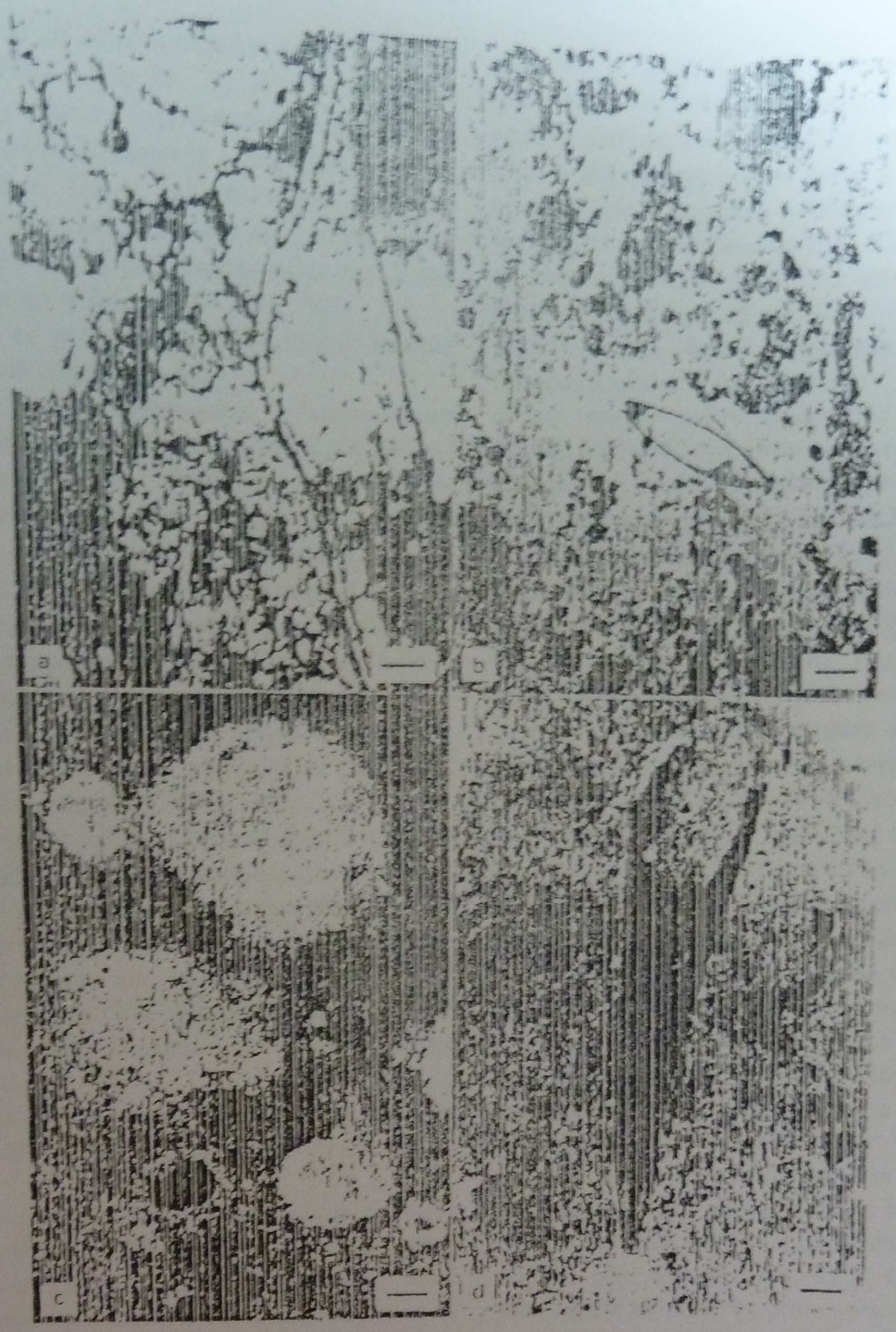


Figura 4a. Bioclastos con incipiente grado de fosfatización. Barra de escala = 0,04 mm.

Figure 4a. Trilobite's test which shows an incipient stage of phosphatization. Scale bar = 0.04 mm.

Figura 4b. Conchilla de braquiópodo fosfático (*Lingula sp?*), en posición de vida, bien preservado. Barra de escala = 0,3 mm.

Figure 4b. Phosphatic braquiopoda test (*Lingula sp?*), found in life position, well preserved (LC2). Scale bar = 0.3 mm.

Figura 4c. Arcilita verde con síliceesferas o posibles radiolarios silicificados dentro de una matriz illítica. Barra de escala = 0,05 mm.

Figure 4c. Green claystone facies (LC4) with silicified radiolarians and tubes (bioclasts?). Different silicaspheres into the illite matrix. Scale bar = 0.05 mm.

Figura 4d. Conodontes dentro de una matriz illítica (LC4). Barra de escala = 0,05 mm.

Figure 4d. Conodont into the illite matrix (LC4). Scale bar = 0.05 mm.

minerales fosfáticos en capas delgadas entre 0,7 a 10 cm de espesor (Fosf., Fig. 2). Se presentan como costras, peloides y clastos fosfatizados de diferentes tamaños, desde varios milímetros a fracción de milímetros en diámetro (Fig. 3a). Petrográficamente están compuestos por una variedad de granos fosfáticos dentro de una matriz pseudoesparítica con escasos granos de cuarzo y feldespato (Fig. 3b).

Los fosfatos se presentan en diferentes formas como se describe a continuación:

a) finos y densos agregados cristalinos de carbonato-fluor-apatita (CFA), de color negro en forma de nódulos esferoidales. No tienen estructura interna aunque algunos conservan el núcleo carbonático original. Varían desde menos de 1 mm a 3 mm de diámetro, pero el 70% es menor de 1 mm. Los granos más pequeños tienen una forma más regular que los mayores y muestran una superficie brillante e irregular (Fig. 3c).

b) agregados fosfáticos de 2 mm de diámetro, con formas microbotroidales compuestas por finas partículas de CFA cristalino (Fig. 3d).

c) clastos fosfatizados con estructura elíptica donde el contenido de fosfato decrece hacia el centro. Varían entre 10 mm y 20 mm en largo (Fig. 3a).

Los bioclastos presentes son de dos tipos: caparazones de trilobites que muestran un incipiente grado de fosfatización (Fig. 4a) y conchillas de un braquiópodo fosfático (*Lingula sp.*), en aparente posición de vida (Fig. 4b).

LC3: wackstones de color gris oscuro a verdoso con mala laminación interna, friables y con clastos de pelitas verdes.

LC4: arcilita verde con silicoesferas o posibles radiolarios silicificados (Fig. 4c), pocos fragmentos de trilobites, y posibles conodontes (Fig. 4d). Este nivel no contiene carbonato. El análisis de rayos X en roca total indica una composición dominio de illita y cuarzo en partes iguales, con feldespato subordinado.

TEXTURA, MINERALOGIA Y COMPOSICION QUIMICA

Sobre la base de las observaciones petrográficas, esta secuencia está compuesta principalmente por minerales de arcilla y calcita con cuarzo, feldespato y apatita en forma subordinada (Fig. 2).

Este examen complementado con los análisis

químicos y rayos X muestran que el mineral fosfático presente en la secuencia corresponde al grupo de la apatita. Los peloides densos y los clastos fosfatizados presentan una estructura zonal con áreas isotrópicas y otras de características cristalinas y criptocristalinas aunque en menor proporción. El fosfato en este caso es: carbonato-fluor-apatita amorfo asociado con un fosfato anisótropo (francolita). Este último sería un reemplazo de restos orgánicos y de otros restos fangocalcáreos. Los resultados de los análisis químicos representados en la tabla 1 y el análisis litológico del perfil sugieren que existen principalmente dos grupos óxidos: aquellos que componen la estructura molecular de la apatita (CaO , Na_2O , P_2O_5 , CO_2), y aquellos localizados fuera de la estructura formando minerales de origen químico (CaO , CO_2) y de origen detrítico (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O), o introducidos por meteorización (Fe_2O_3 , MnO , MgO). La presencia de SiO_2 y K_2O podría sugerir también un incipiente grado de glauconitización, pero estos elementos pueden estar incorporados en la estructura de la apatita (McConnell, 1973; Prévôt & Lucas, 1980).

Las arcillas principalmente y en menor medida los escasos feldespatos pudieron aportar SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O mientras que la fuente esencial de CaO y CO_2 sería la micrita-esparita presente como una matriz recrystalizada. La única posible sustitución en la estructura de la apatita, teniendo en cuenta la presencia de Na_2O y CO_2 es de Na^+ por Ca^{++} y CO_3 por P_2O_5 , preservando así el balance de carga. Si esta sustitución tuvo lugar, podría sugerirse que el carbonato sustituyente del PO_4^{3-} fuera como CO_3F .

Los análisis con microsonda realizados sobre un área de roca total de los niveles fosfáticos, arrojaron como composición los siguientes elementos: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cl y S (Tabla 2). En este sector se observa una estructura microcristalina que consiste en cristales euhedrales de apatita, masas de calcita fibrosa y microgranular, agregados laminares de arcillas y escasa cantidad de sílice (cuarzo) y óxidos de Fe indiferenciables.

DISCUSION

1) La presencia de mudstones y arcillitas calcáreas laminadas ricas en materia orgánica junto con la fauna típica cosmopolita representan condiciones de baja energía y bajo contenido en oxígeno que corresponderían a un ambiente de talud de pendiente

Niveles fosfáticos en los depósitos del Cámbrico superior en el área de San Isidro, Mendoza

	LC2 a	LC2 b	LC2 c
SiO ₂	0,70	27,05	70,77
Al ₂ O ₃	3,05	17,77	7,77
Fe ₂ O ₃	0,70	7,66	2,17
MnO	0,02	0,07	0,05
MgO	1,30	1,57	2,17
CaO	48,31	26,62	27,61
Na ₂ O	0,34	0,40	0,73
K ₂ O	0,04	1,27	0,76
F ₂ O ₅	7,62	0,91	1,22
CO ₂	29,57	22,26	21,37
H ₂ O	0,05	0,1	0,05

TABLA 1: Análisis químicos de los niveles fosfáticos. Los óxidos están expresados en porcentaje en peso.
TABLE 1: Chemical analysis in phosphatic levels. Oxides are given in weight percent.

	LC2 b	LC2 b	LC2 b	LC2 b	LC2 c	LC2 c
Si	6,07	6,77	6,72	7,61	7,97	10,32
Al	---	---	---	---	---	2,74
Ti	---	---	9,25	8,67	---	---
Fe	---	---	---	---	4,04	1,62
Mg	---	---	---	---	---	2,10
Ca	88,15	86,17	77,06	75,68	75,15	67,35
K	---	---	---	---	1,66	1,77
P	5,78	6,16	2,16	2,04	10,34	12,47
Cl	---	---	---	---	0,85	1,60
S	---	---	4,62	5,03	---	---

TABLA 2: Análisis por microsonda de los niveles fosfáticos. Los elementos están expresados en porcentaje en peso.
TABLE 2: Microprobe analysis in phosphatic levels. Elements are given in weight percent.

suave (menor a 2°) y plataforma externa. Las arcillas silíceas con fauna planctónica serían características de un ambiente más profundo. Esto sugeriría al menos moderadas fluctuaciones del nivel del mar durante el Cámbrico superior (di Pasquo, 1993) (Fig. 2).

2) La asociación de lutita negra-chert-fosforita representada en la secuencia es generalmente tomada como indicadora de ambiente marino de "upwelling" (Cook & Shergold, 1986).

3) Los resultados de los estudios petrográficos evidencian que la micrita ha precipitado en forma primaria y posteriormente recristalizado a esparita. Luego, la esparita junto con peloides, clastos de terrígenos y bioclastos sufrieron un proceso de fosfatización con distinto grado de reemplazo. Esto último implica principalmente un reemplazo del ion carbonato por el ion fosfato en la capa sedimentaria. Esto habría ocurrido a partir de aguas marinas cámbricas enriquecidas en fósforo, como fue mencionado por Vieillard (1978), Cook & Shergold (1984) y Cook et al. (1990). Estos procesos diagenéticos

ocurren como consecuencia de una baja tasa de sedimentación clástica marina, la cual permite que una sedimentación química o bioquímica pueda ser dominante durante algunos intervalos.

4) La abundancia de fosforitas alrededor de la transición Proterozoico-Panerozoico, y la posibilidad de que esto sea resultado de un evento fosfogénico mayor (o eventos), es consistente con un cambio mayor en el contenido de fósforo en el océano para este tiempo. La circulación de aguas oceánicas profundas ricas en fósforo dentro de la zona fótica somera, y un aumento del nivel del mar para este mismo tiempo pudo también haber sido un factor contribuyente. La fosfatización de algunos niveles de la facies de mudstone (LC2) no se habría producido al comienzo de una transgresión, sino en el momento que el mar en la zona de plataforma alcanzó una profundidad suficiente, por analogía a lo hallado por Eganov para las secuencias cámbricas de Karatau y Georgina Basin (Eganov, fide Cook & Shergold, 1979).

5) De acuerdo con Cook (comunicación personal), las manifestaciones fosfáticas descritas presentan características similares a los depósitos del norte de Australia donde hay fragmentos fósiles de

las mismas especies, intervalos silíceos y nódulos de chert en las capas subyacentes que son características comunes en ambos casos.

Por otro lado, evidencias que provienen de diferentes campos geológicos parecen coincidir en la idea de que las cuencas del oeste de Gondwana y del este de Laurentia estuvieron muy cerca o unidas durante el Eopaleozoico y Proterozoico. La distribución simétrica de las facies depositacionales, la existencia de una fauna común durante el Cámbrico junto con la reconstrucción paleogeográfica basada en datos paleomagnéticos dan la idea de una posible conexión entre el borde este de los Apalaches y el borde oeste de la Precordillera (Sellés Martínez, 1988; Dalla Salda et al., 1992a, 1992b y 1993; Dalziel, 1991, 1993; Benedetto, 1993; Ramos et al., 1993). Durante los tiempos cámbricos, en el borde este de la plataforma de Norteamérica se desarrollaron tres cinturones de facies mayores (Notholt & Brasier, 1986), los cuales fueron similares a los encontrados en la cuenca de Precordillera.

6) En general, los depósitos fosfáticos del Cámbrico medio y superior son relativamente menores, delgados y sin interés hasta ahora, comparados con aquellos del Cámbrico inferior (Cook, 1992). Desde el punto de vista minero la manifestación hallada, es considerada no económica pero puede ser usada como guía litológica para la búsqueda de nuevos prospectos.

CONCLUSIONES

Se comprobó la existencia de un evento fosfogénico para el Cámbrico superior, siendo ésta la primera mención de la presencia de niveles fosfáticos para este período en la Precordillera de Argentina.

La aplicación de datos paleomagnéticos, junto con los análisis paleoambientales confirmaron ser una guía básica para la prospección de fosfatos.

Estos niveles fosfáticos se habrían generado a una profundidad algo mayor que la conocida para depósitos más modernos. Esto puede estar relacionado con la mayor disponibilidad de fósforo en el ambiente marino para ese tiempo.

A partir de las propuestas presentadas en este trabajo se infiere que las manifestaciones fosfáticas de Precordillera podrían ser comparables a las de los Apalaches descritas por Mathieu (1893 fide Christie & Sheldon, 1986) y Mathieu (1903, fide Christie &

Sheldon, 1986), aunque todavía hay escasa información sobre estos últimos depósitos.

Por último, desde el punto de vista minero la manifestación hallada, es considerada no económica pero puede ser usada como guía litológica para la búsqueda de nuevos prospectos.

Agradecimientos. Los autores agradecen muy especialmente al Dr. Carlos Limarino (Universidad de Buenos Aires) por la lectura crítica y sugerencias aportadas al manuscrito; a los doctores Peter Cook (British Geological Survey), Ian Jarvis (Kingston University), Karl Föllmi (ETHZ, Suiza), Liliane Prévôt y Jacques Lucas (Institute Louis Pasteur, Francia) por la generosa colaboración, provisión de información e intercambio de ideas en el problema de la fosfogénesis. Ésta es una contribución al Proyecto 325 (UNESCO-IUGS) del Programa de Correlación Geológica Internacional. Por último, agradecemos a los doctores Eugenio Aragón y Roberto Scasso por la revisión y arbitraje del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BATURIN, G., 1982. Phosphorites on the sea floor. Origin, composition and distribution. *Developments in Sedimentology* 33, Elsevier, New York, 342 pp.
- BENEDETTO, J., 1993. La hipótesis de la aloctonía de la Precordillera Argentina: un test estratigráfico y biogeográfico. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas* III:375-384, Mendoza.
- BENTOR, Y., 1980. Phosphorites. The unsolved problems. En: Bentor Y. (Eds.), *Marine Phosphorites*. Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Special Publication 29:3-18.
- BORDONARO, O., 1985. El Cámbrico de San Isidro, Mendoza en facies de borde externo y talud de la plataforma calcárea de Precordillera. *Primera Jornada de Geología de Precordillera, Actas* I:12-17, San Juan.
- BORDONARO, O., M. BÉRESI & M. KELLER, 1993. Reinterpretación del Cámbrico en el área de San Isidro, Precordillera de Mendoza. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas* I:12-19, Mendoza.
- BORRELLO, A., 1969. El Flysh Paleozoico de Mendoza. *Cuarta Jornada de Geología Argentina, Actas* I:75-89.
- CASTRO, L., & A. CASELLI, 1991. Fosfatos:

- prospección, mercado y sus posibilidades económicas en la República Argentina. *Revista de la Asociación de Geólogos Economistas* VII 4-12.
- CASTRO, L., 1992. Phosphorites deposits on the continental shelf of Argentina. *Workshop "Phosphorite and other offshore minerals"*. Abstracts Ocean Science of Non Living Resources, Porto Alegre, Brasil.
- CASTRO, L. & M. DI PASQUO, 1993. Upper cambrian phosphate deposits of La Cruz Formation, their origin and composition, Mendoza province, Precordillera, Argentina. *Símposio y workshop "Concepts and controversies in phosphogenesis"*, Interlaken, Suiza. (Presentación oral y poster).
- CHRISTIE, R. & R. SHERGOLD, 1986. Regional review. North American. En P. Cook & J. Shergold (Eds.), *Phosphate deposits of the world. Proterozoic and Cambrian Phosphorites* 1(8):101-107. Cambridge.
- CONTI, C. & A. RAPALINI, 1993. La deriva polar aparente del Gondwana en el Paleozoico en función de nuevos datos paleomagnéticos de Argentina. Implicancias latitudinales para América del Sur. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas* III:404-414, Mendoza.
- COOK, P. & M. McELHINNY, 1979. A Reevaluation of the spatial and temporal distribution of sedimentary phosphate deposits in the light of plate tectonics. *Economic Geology* 74:315-330.
- COOK, P. & J. SHERGOLD, 1979. Proterozoic - Cambrian Phosphorites. *First International Field Workshop and Seminar on Proterozoic - Cambrian Phosphorites*, Project 156, 106 pp. Canberra.
- COOK, P. & J. SHERGOLD, 1984. Phosphorus, phosphorites and skeletal evolution at the Precambrian - Cambrian boundary. *Nature* 308:231-236.
- COOK, P. & J. SHERGOLD, 1986. Phosphate deposits of the world. *Proterozoic and Cambrian Phosphorites*. En P. Cook & J. Shergold (Eds.), Vol. 1. Cambridge University Press, Cambridge, 386 pp.
- COOK, P., J. SHERGOLD, W. BURNETT & S. RIGGS, 1990. Phosphorite research: a historical overview. En A. Notholt & I. Jarvis (Eds.), *Phosphorite Research and Development*, Geological Society Special Publication 52:1-22.
- COOK, P., 1992. Phosphogenesis around the Proterozoic - Phanerozoic transition. *Journal of the Geological Society of London* 149:615-620.
- DALLA SALDA, L., C. CINGOLANI, & R. VARELA, 1992a. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South America: Result of Laurentia - Gondwana collision?. *Geology* 20 (7): 617-620.
- DALLA SALDA, L., I. DALZIEL, C. CINGOLANI, & R. VARELA, 1992b. Did the Taconic Appalachians continue into southern South America?. *Geology* 20(12):1059-1063.
- DALLA SALDA, L., R. VARELA & C. CINGOLANI, 1993. Sobre la colisión de Laurentia y el Orógeno Famatiniano. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas* III:358-366, Mendoza.
- DALZIEL, I., 1991. Pacific margins of Laurentia and east Antarctica - Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology* 19:598-601.
- DALZIEL, I., 1993. Tectonic tracers and the origin of the Proto - Andean margin. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas* III:367-376, Mendoza.
- DI PASQUO, M., 1993. Estratigrafía y Paleambiente de la Secuencia calcáreo-pelítica de las Formaciones San Isidro y La Cruz, en la Precordillera de la Provincia de Mendoza, Argentina. Trabajo Final de Licenciatura, *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires*, 385 pp. (inédito).
- DUNHAM, R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En W.E. Ham (Ed), *Classification of carbonate rocks*. American Association Petroleum Geologists, Memoir 1:108-121, Tulsa, Oklahoma.
- GARRISON, R., 1992. Neogene Phosphogenesis along the eastern margin of the Pacific ocean. *Revista Geológica de Chile* 19(1):91-111.
- GARCÍA, H. & E. ROSSELLO, 1983. Fosfatos sedimentarios en el Paleozoico inferior de San Juan. *Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 14(3-4):80-83.
- GARCÍA, H., L. CASTRO, J. SOTO & A. CASELLI, 1988. Aplicación de un modelo teórico para la prospección de fosfatos sedimentarios marinos. *III Congreso de Geología Económica, Actas*. Olavarría, (en prensa).
- LEANZA, H., A. SPIEGELMAN, & C. HUGO, 1986. Episodicidad y distribución de las fosforitas marinas Fanerozoicas de la República Argentina: Análisis preliminar. *Primera Reunión Argentina de Sedimentología, Actas* 213-216. La Plata.
- LEANZA, H., A. SPIEGELMAN, C. HUGO, O. MASTANDREA & C. OBLITAS, 1989. Phanerozoic

- sedimentary phosphatic rocks of Argentina. En J. Notholt, R. Sheldon & D. Davidson (Eds.), *Phosphate rocks resources* 2(24):147-158. Cambridge.
- MASTANDREA, O., H. LEANZA, C. HUGO & C. OBLITAS, 1982. Prospección de fosfatos sedimentarios en la República Argentina. *V Congreso Latinoamericano de Geología III*:159-176. Buenos Aires.
- McCONNELL, D., 1973. Apatite, its cristal chemistry, mineralogy, utilization, and geologic and biologic occurrences. *Springer-Verlag*, New York, 111 pp.
- NOTHOLT, A. & M. BRASIER, 1986. Regional review: Europe. En P. Cook & J. Shergold (Eds.), *Phosphate deposits of the world. Proterozoic and Cambrian Phosphorites*, 1(7):91-100. Cambridge.
- PRÉVÔT, L. & J. LUCAS, 1980. Behaviour of some trace elements in phosphatic sedimentary formation. En Y. Bentor (Ed.), *Marine Phosphorites*. Society of Economic Paleontologists and de Palo y su integración al supercontinente Proterozoico. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas III*:343-357. Mendoza.
- RAMOS, V., G. VULOVICH, S. KAY & McDONOUGH, 1993. La orogénesis de Grenville en las Sierras Pampeanas Occidentales: la sierra de Pie de Palo y su integración al supercontinente Proterozoico. *XII Congreso Geológico Argentino, Actas III*: 343-357. Mendoza.
- RIGGS, S., 1979. Phosphorite sedimentation in Florida System. A model Phosphogenic System. *Economic Geology* 74(2):285-314.
- SELLÉS MARTÍNEZ, J., 1988. Were the Precordillera's and Appalachian shelves opposite margin of Iapetus. Symposium Lithospheric positive in Argentine Tectonic. *VII Congreso Latinoamericano de Geología, Abstracts*. Belén do Pará.
- SHELDON, R., 1964. Paleolatitudinal and paleogeographic distribution of phosphorite. *United States Geological Survey, Professional Paper* 501-C:106-113.
- SHELDON, R., 1980. Episodicity of phosphate deposition and deep ocean circulation. A hypothesis. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication 29:239-247. Tulsa.
- SHELDON, R., 1981. Ancient marine phosphorites. *Annual Review of Earth Planetary Science* 9:251-284.
- VALENCIO, D., J. VILAS & A. SINIATO, 1980. Paleomagnetismo y edades radiométricas de algunas formaciones neoprecámbricas y eopaleozoicas de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XXXV*(3): 421-434.
- VIÉILLARD, PH., 1978. Géochimie des phosphates. Etude thermodynamique application à l'étude à la genèse des apatites. *Science Géologique* 51:1-175.

Mercedes Di Pasquo y Liliana Castro
Universidad de Buenos Aires. Facultad de
Ciencias Exactas y Naturales.
Ciudad Universitaria. Pabellón II. 1° piso.
1428. NUÑEZ. BUENOS AIRES
Argentina
Teléfono: 54-01-781-8213
Fax: 54-01-788-3439

Recibido: 4 de mayo de 1994
Aceptado: 25 de octubre de 1994