

Análisis comparativo de los procesos de calcretización en las Formaciones Marília (Grupo Bauru – Brasil) y Mercedes (Grupo Paysandú – Uruguay), Cretácico Superior de la Cuenca de Paraná

Veroslavsky, G.¹; Etchebehere, M. L. C.²; Saad, A. R.^{2,3} & Fulfaro, V. J.^{2,3}

Contribución al Proyecto "O Cretáceo Superior Continental Sedimentar da parte Austral da América do Sul,

Fapesp n° 1996/7090-8

1 Instituto de Geologia y Paleontología

2 Departamento de Geologia Sedimentar - IGCE - UNESP, Rio Claro, Brasil

3 Laboratorio de Geociências - UnG, Guarulhos, Brasil

Abstract

Pedogenic and non-pedogenic calcrete facies are a very common feature of Marília (Brazil) and Mercedes (Uruguay) formations in the Paraná Basin. The non-pedogenic ones constitute massive limestone facies that have been recently interpreted as groundwater calcretes. These limestones are exploited in both countries to supply raw materials to Portland cement and soil conditioner industries. This paper aims to present a comparative study of these calcrete facies, with emphasis in origin and age of calcretization phenomena. In Uruguay, the calcretization process seems to be more variable in intensity, leading, in an extreme situation, to pure limestone and to chert segregation band formations. Field relationships and fossil assemblage point to a Paleocene (or later) age for the calcretization. In Brazilian territory, the groundwater calcretes are supposed to be of Upper Cretaceous age due to the presence of dinosaurs scattered through the Bauru Group, including siliciclastic beds below and above the calcretes. The authors assume that calcretization processes are similar in both countries (host rocks, intensity, size, textures, geometries and economic potential). The main difference is in age of the calcretization.

Resumen

En las Formaciones Marília (Brasil) y Mercedes (Uruguay) de la Cuenca de Paraná, calcretas pedogénicas y no pedogénicas constituyen facies comunes. Dentro de las calcretas no pedogénicas, las facies de calizas macizas han sido recientemente interpretadas como calcretas de aguas subterráneas. Estas rocas carbonáticas son explotadas para la producción de cemento portland y otros usos industriales. El objetivo de este trabajo es presentar un análisis comparativo de las calcretas, con énfasis en el origen y edad del proceso de calcretización. En Uruguay, la calcretización muestra una intensidad variable, alcanzando situaciones extremas que originan calizas casi puras con segregación de sílice conformando espesos bancos de chert. Las relaciones de campo, así como la asociación fosilífera presente, permiten posicionar el proceso de calcretización en el Paleoceno. En el territorio brasileño, las calcretas de aguas subterráneas son posicionadas en el Cretácico Superior debido a la presencia de dinosaurios en el Grupo Bauru, incluyendo relaciones de campo donde las sedimentitas rojizas supra e infrayacen a las calcretas. Se asume que el proceso de calcretización es muy similar en ambos países (intensidad, protolitos, espesores, texturas, geometrías y potencial económico). La principal diferencia la constituye la edad del proceso de calcretización.

Introducción

Estudios recientes realizados sobre los depósitos calcáreos asociados a las unidades cretácicas de la Cuenca de Paraná, Formaciones Marília (Brasil) y Mercedes (Uruguay), han permitido formular nuevas interpretaciones respecto del origen de estas rocas carbonáticas. Tradicionalmente, los calcáreos de las referidas unidades eran relacionados a una sedimentación continental lacustre, de origen químico, como lo señalan varios autores, tanto para el territorio brasileño (*e.g.* Barcelos, 1984; Fernandes, 1992) como para el uruguayo (*e.g.* Veroslavsky *et al.*, 1997). Actualmente, la mayoría de estas rocas son interpretadas por los autores como calcretas.

El objetivo del presente trabajo consiste en presentar un estudio comparativo de las principales características geológicas de estas unidades carbonáticas y formular algunas consideraciones acerca del origen y edad de las mismas.

El término calcreta es utilizado aquí para designar depósitos carbonáticos continentales originados por acumulación de carbonato de calcio en el suelo, sedimento o roca, por relleno intergranular, sustitución o transformación de minerales preexistentes a través de aporte lateral o vertical de iones.

Cabe señalar que se ha puesto mayor énfasis aquí en el tratamiento de las calcretas de aguas subterráneas dado el interés económico que tienen en ambos países.

Contexto regional

La Cuenca sedimentaria de Paraná es una unidad geotectónica cratónica de más de 1.200.000 km² distribuidos por cuatro países sudamericanos: Brasil, Uruguay, Argentina y Paraguay. La potencia máxima de la sucesión vulcanosedimentaria sobrepasa los 6000 metros en territorio brasileño mientras que, en el uruguayo, supera levemente los 2000 metros. La columna litoestratigráfica exhibe unidades con edades desde el Silúrico al Paleógeno. Estas son separadas por varios episodios marcados por discordancias y un gran evento volcánico durante el Eocretácico, que permite su división en el tiempo, en diferentes episodios de cuenca. La compartimentación fue controlada, durante la evolución de esas cuencas, por grandes trazos estructurales heredados del basamento cristalino, reactivados, de forma

recurrente, a lo largo del Fanerozoico.

Las unidades del Cretácico Superior, reunidas en el Grupo Bauru (Brasil) y el Grupo Paysandú (Uruguay) son representativas de uno de los eventos tectono-sedimentario más jóvenes de la Cuenca de Paraná. El mismo se desarrolla después del episodio volcánico que generó los basaltos del Cretácico Inferior. Dentro de un padrón geográfico distinto al de las unidades más antiguas de la cuenca, estos dos grupos se distribuyen en áreas menores y más localizadas.

El Grupo Bauru ocurre en la región centro-norte de la cuenca ocupando un área de 300.000 km² en seis estados brasileños, a saber: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás y Minas Gerais. El Grupo Paysandú ocupa un área de aproximadamente 55.000 km² al sur del escudo Uruguayo – Sul-Rio-grandense, prácticamente en el extremo meridional de la cuenca e inclusive, se llega a extender fuera del dominio geográfico de ésta. No existe ninguna evidencia geológica que permita sugerir que ambas cuencas se encontrasen, en el pasado, conectadas a través del *plateau* basáltico eocretácico.

Contextos locales

A – Situación brasileña

En la porción de la Cuenca de Paraná situada en territorio brasileño, las sedimentitas cretácicas se reúnen en el Grupo Bauru (sentido de Soares *et al.*, 1980 y Barcelos, 1984). Los calcáreos se asocian a la Formación Marília, la que posee una expresiva representación areal (fig.1). Los depósitos carbonáticos engloban dos tipos diferentes, a saber: (1) con cementación carbonática de origen pedogenética (nódulos y cemento intergranular), con mayores concentraciones de calcita hacia la parte superior de los bancos y (2) cementación carbonática intensa, de origen no pedogenética (calcretas de agua subterránea – *non pedogenic groundwater calcretes*), formando paquetes con potencias de hasta 15m, y características texturales y mineralógicas que varían entre calcáreos relativamente puros (> 95% de CaCO₃) hasta areniscas y areniscas conglomerádicas cementadas por carbonato, con nódulos y venas de sílice dispersas; la presencia de granos flotando (*floating grains*) en una matriz carbonática es relativamente común así como también procesos de corrosión afectando la superficie de los clastos.

	BRASIL	URUGUAY
Faciología del protolito	Areniscas conglomerádicas, areniscas, fangolitas y conglomerados	Areniscas finas a medias, areniscas conglomerádicas, fangolitas y, ocasionalmente, conglomerados
Textura	calcretas de aguas subterráneas: maciza y con incipiente laminación calcretas pedogénicas: laminadas con nódulos y cemento intergranular	calcretas de aguas subterráneas: maciza predominante, cementación carbonática intra e intergranular. calcretas pedogénicas: laminada, concreciones, cemento intergranular, fósiles
Intensidad del proceso	cementación carbonática de intensidad variable, de moderada a fuerte, llegando a reemplazar la fracción siliciclástica del protolito	cementación carbonática intensa, fuerte a moderada, con reemplazo total y formación de bancos de chert asociado al proceso de carbonatación
Espesores	calcretas de aguas subterráneas: 7 a 15 metros calcretas pedogénicas: variables (cm-m)	calcretas de aguas subterráneas: 4 a 15 metros calcretas pedogénicas: variables (cm-m)
Area fuente	basamento precámbrico (Grupo Bambuí), basaltos y rocas alcalinas cretácicas	basamento precámbrico (Grupo Lavalleya) y basaltos eocretácicos
Control estructural	claro en el caso de las calcretas de aguas subterráneas: Flexura de Goiânia, Sutura de Itambiara (NO-SE) y depresión de Uberaba	claro en el caso de calcretas de aguas subterráneas: lineamientos de Queguay, Río Negro y Alto de Santa Rosa
Control petrofísico	Cementación carbonática diferencial, importante en los pedogénicos, controlada por la permo-porosidad de las sedimentitas	Cementación carbonática diferencial, importante en los pedogénicos, controlada por la permo-porosidad de las sedimentitas
Abundancia	pedogénicos mayor a no pedogénicos	no pedogénicos mayor a pedogénicos
Fósiles	No se han encontrado fósiles en calcretas de aguas subterráneas	En calcretas pedogénicas: gastrópodos, rizolitos, semillas, nidos de insectos, etc.
Edad	Neocretácica, basada en las relaciones estratigráficas de unidades siliciclásticas fosilíferas (restos de dinosaurios y plantas) y ausencia de restos fósiles atribuibles al Terciario.	Paleoceno, basado en relaciones estratigráficas y los fósiles presentes en los calcáreos, correlacionables a la fauna de São José de Itaboraí (Brasil)
Aprovechamiento económico	cemento portland, piedra cal, correctivo de suelos	cemento portland; piedra cal; carreteras; refinado de azúcar.

Figura 1 - Cuadro comparativo entre las calcretas de las Formaciones Marília y Mercedes

Las calcretas pedogénicas son las más comunes y ocurren en los Estados de São Paulo, Mato Grosso de Sul e Goiás. Las calcretas de aguas subterráneas están restringidas al borde noreste de la cuenca, en la región denominada Triângulo Mineiro y, litoestratigráficamente, corresponde al Miembro Ponte Alta. Esta unidad, conjuntamente con el Miembro Serra de Galga propuesto por Barcelos (1984), constituyen la Formación Marília en esa área. En las canteras de la región de Monte Alegre de Minas, están

presentes los dos tipos de calcretas, observándose calcretización de origen pedogénica sobreimpuesta a calcretas de agua subterránea.

El Grupo Bauru, particularmente en su sección superior, exhibe un importante registro paleontológico, destacándose las asociaciones de invertebrados (gastrópodos, bivalvos y crustáceos) y vertebrados (peces y reptiles), así como ocasionales restos vegetales (carófitas, troncos de coníferas, etc.) con un marcado endemismo de sus especies (Dejux & Lima, 1997). Restos de

Titanosauridae han sido utilizados para marcar los últimos registros sedimentarios de Bauru como posicionados en el Maastrichtiano - Santoniano (Fulfaro *et al.*, en prensa). A su vez, las asociaciones polínicas que ocurren en São Carlos (SP) son relacionadas al intervalo Coniaciano - Santoniano (Lima *et al.*, 1986; Dejax & Lima, 1997; Simone & Mezzalana, 1997).

B - Situación uruguaya

En Uruguay, la sedimentación neocretácica está representada por el Grupo Paysandú (Bossi & Navarro, 1991), de base a techo, integrado por las formaciones Guichón, Mercedes y Asencio. Las sedimentitas reunidas en éstas materializan un único evento depositacional diacrónico a la sedimentación Guichón (Santa Ana *et al.*, 1993). La Formación Mercedes, como redefinida por Bossi *et al.* (1975) reúne areniscas y, subordinadamente, areniscas conglomerádicas y pelitas, cementadas por sílice y carbonato. Agrupa también dentro de esta unidad, los niveles calcáreos que se desarrollan predominantemente hacia el tope de la unidad, para los que se ha consagrado la denominación de "Calizas del Queguay", aun cuando se extiendan fuera del ámbito geográfico de la Cuenca de Paraná. Principalmente en la región del Queguay, los calcáreos se asocian a espesos bancos y lentes de chert. La Formación Asencio, de acuerdo con Preciozzi *et al.* (1985), consiste de areniscas finas arcillosas, afectadas por procesos de ferrificación, silicificación e intercalaciones de lentes carbonáticos. Estos autores señalan que las relaciones de contacto entre la formaciones Mercedes y Asencio no están claramente definidas, lo que no sorprende ya que ésta última no debiera tener el rango de formación.

En la región del litoral oeste del Uruguay, se encuentra la principal área de ocurrencia de las rocas carbonáticas. La mayoría son interpretadas como calcretas de aguas subterráneas, si bien se reconocen niveles pedogénéticos asociados. En las regiones de Queguay, Lorenzo Geyres, Pueblo Darwin, Río Negro y Sauce (sur del país) ocurren calcretas de aguas subterráneas. A su vez, en las localidades de Quebracho, Algorta y Sauce, entre otras, aparecen niveles de calcretas pedogénicas con fósiles.

Las calcretas de aguas subterráneas se presentan como cuerpos tabulares a lentiformes, alineadas en torno a los principales elementos estructurales de la Cuenca de Paraná: en el litoral

oeste, lineamientos del Queguay y Quebracho y, más al sur, del Río Negro. Una situación similar es descrita por Veroslavsky *et al.* (1997) para la Cuenca da Santa Lucía, donde la distribución de las calcretas está controlada por el Alto de Santa Rosa.

En la región del Queguay, principal área de explotación, se reconocen cuatro facies sedimentarias, a saber: areniscas y areniscas conglomerádicas con cemento carbonático; areniscas y fangolitas calcáreas; calizas arenosas; y calizas macizas (Veroslavsky *et al.*, 1997). La facies de calizas está constituida esencialmente por calcita de grano-micrítico, subordinadamente esparítica y en parte silicificada. En esta facies se observa el reemplazo de los componentes silicoclásticos (protolito) por calcita es casi total, predominando las figuras de sustitución, disolución y recristalización de calcita bajo la forma de esparita. Asimismo, es posible observar algunos relictos de sedimentitas arenosas englobados totalmente por las calizas. Esta facies es la más importante desde el punto de vista económico, ya que alcanza valores que superan el 93% de CaCO_3 en bancos homogéneos de hasta 15 metros de potencia y con expresiva continuidad lateral. Los bancos y lentes de chert (silcretas), de espesores variables, se relacionan lateral y verticalmente a los niveles de calizas macizas y calizas arenosas.

Por último, en la región de Quebracho, se encuentran niveles métricos de calizas laminadas, con nódulos, concreciones, cemento intergranular y una rica asociación fosilífera. Similar situación ocurre en la localidad de Sauce, aunque con diferencias en relación a la asociación fosilífera presente.

Interpretación

El Grupo Bauru en el Triângulo Mineiro tuvo como principal área fuente sedimentaria los materiales provenientes del Levantamiento del Alto Paranaíba (Hasui & Haralyi, 1989), recibiendo contribuciones de rocas alcalinas mesozoicas y metamorfitas precámbricas variadas, incluyendo metacalcáreos del Grupo Bambuí (Barcelos, 1984). La parte basal del Grupo Bauru en el Triângulo Mineiro es materializada por la Formación Uberaba, constituida por areniscas, areniscas conglomerádicas, conglomerados y fangolitas, de tonalidades verdosas, con abundante

contribución tufítica.

Esta unidad se encuentra restringida a la depresión homónima (Hasui & Haralyi, op.cit.), admitiéndose que esta sedimentación se dio en condiciones climáticas áridas a semi-áridas, bajo la forma de abanicos aluviales, con ríos entrelazados avanzando hacia el sur, suroeste y oeste. Tanto los basaltos de Serra Geral (Ki) como las metasedimentitas precámbricas y las rocas alcalinas neocretácicas, pueden haber contribuido con iones cálcicos, carbonatos y bicarbonatos para las napas freáticas subterráneas. Las estructuras que forzaron el nivel freático hacia la superficie, y en consecuencia, favorecieron los procesos evaporíticos, pueden estar relacionados a la Sutura de Itumbiara, descrita por Hasui & Haralyi (op. cit.).

En este sentido, la propia depresión de Uberaba, limitada por la Sutura Itumbiara y el borde de la cuenca, y la notable alineación NO-SE de las ocurrencias de los calcáreos de agua subterránea, sugieren un control estructural de las zonas de elevación del nivel freático. Si se considera que esta misma dirección se encuentra reflejada en el mapa de isópacas de las secuencias anteriores; en los lineamientos; y en la foliación del basamento así como en los contactos de las unidades litoestructurales precámbricas, se admite la reactivación de estas anisotropías antiguas, inclusive durante la **sedimentación del Grupo Bauru**.

El sistema de drenaje subterránea establecido para la época Bauru fue responsable por el transporte de los iones desde las áreas fuentes hacia las zonas favorables a la calcretización no pedogénica, mediante períodos intermitentes de recarga; otras contribuciones químicas incluirían reacciones con las rocas percoladas y la adición por medio de aguas meteóricas (Silva *et al.*, 1994).

Las denominadas "Calizas del Queguay", particularmente las facies de calizas y calizas arenosas reconocidas en el área tipo, resultan de la actuación de procesos de calcretización, más o menos generalizados, sobre un protolito clástico constituido por la Formación Mercedes. El desarrollo de esas facies fue controlado, además de por sus características petrofísicas, por los lineamientos del Queguay, Quebracho y Río Negro. La asociación calizas-chert se interpreta como siendo parte del mismo proceso, infiriéndose condiciones climáticas áridas y cálidas durante su formación. Los niveles de calizas fosilíferas, tanto en la región del litoral oeste como en el sur, son

interpretados como paleosuelos (calcretas pedogénicas) lo que a su vez está en consonancia con las asociaciones fosilíferas presentes (Martínez *et al.*, en prensa).

Edades de los procesos de calcretización

Considerando que parte de los registros fosilíferos del Grupo Bauru se encuentran en estratos que sobre e infrayacen a las calcretas (situación observada en el Triángulo Mineiro), se ha inferido una edad cretácica tanto para la sedimentación como para el proceso de carbonatación. Sin embargo, cabe señalar que la propia extensión cronológica de Bauru está sujeta a controversias (los restos de dinosaurios son fragmentos retransportados; las dataciones palinológicas son todavía pocas; los restos vegetales tienen una distribución temporal muy amplia). Sin embargo, se debe remarcar la existencia de facies conglomerádicas en la Formación Marília cuyos clastos incluyen nódulos carbonáticos de origen pedogénico, indicando al menos una penecontemporaneidad entre los sedimentos sometidos a pedogénesis (con calcretización) y los procesos de resedimentación.

Las formaciones Mercedes y Asencio son portadoras de restos de dinosaurios, en particular *Neuquensaurus australis* (vide Perea & Ubilla, 1994), lo que ha permitido asignarlas al Cretácico. Asimismo, las "Calizas del Queguay" son portadoras de una rica asociación fosilífera constituida por gastrópodos terrestres (*Eoborus*), endocarpos de *Celtis santosi*, rizolitos y nidos de himenópteros (*Celliforma*) constituyendo este tipo de asociación un elemento característico de paleosuelos (Retallack, 1990). La existencia de perfiles completos de calcretización (calcretas pedogénicas con fósiles sobrepuestas a calizas de aguas subterráneas) llevaron a Martínez *et al.* (1996) a proponer una edad paleocena para el proceso de calcretización, al correlacionar los fósiles presentes con los de São José de Itaboraí (Brasil).

Consideraciones finales

Los procesos de calcretización que afectaron parcialmente las sedimentitas siliciclásticas neocretácicas de la Cuenca de Paraná, tanto en Brasil como en Uruguay, presentan grandes similitudes en cuanto a la faciología, intensidad, controles estructurales y petrofísicos, difiriendo en la edad del proceso. Los principales aspectos del análisis comparativo son sintetizados en la fig. 1.

Referencias bibliográficas

- BARCELOS, J.H., 1984. *Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru, baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo*. Rio Claro. 190 p. Tese de Livre-Docência - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- BOSSI, J. & NAVARRO, R., 1991. *Geología del Uruguay*, Montevideo, Depto. de Publicaciones de la Universidad de la República, 996pgs.
- DEJAX, J. & LIMA, M.R. 1997. A palinoflora da parte superior do Grupo Bauru (Cretáceo superior) no Estado de São Paulo, Brasil. In: *Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná*, 3, 1997. *Boletim de Resumos...* Barra do Garças (MT), Faculdade de Geologia da UERJ - Prefeitura de Barra do Garças, p. 38.
- FERNANDES, L.A. 1992. *A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. São Paulo. 171 p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências (IG), Universidade de São Paulo (USP).
- FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; BATEZELLI, A., en prensa. *Bauru basin: An Upper Cretaceous continental sedimentary basin in austral South America*.
- HASUI, Y. & HARALYI, N.L.E. 1991. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do Soerguimento do Alto Paranaíba. *Geociências*, v.10, p.: 57-77.
- LIMA, M. R.; MEZZALIRA, S.; DINO, R.; SAAD, A.R., 1986. Descoberta de microflora em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo do Estado de São Paulo. *Revista IG*, vol7 (1/2): 5 -9.
- MARTINEZ, S.; VEROSLAVSKY, G.; VERDE, M. & SANTA ANA, H. de., 1996. Asociaciones fosilíferas paleógenas en paleosuelos calcáreos del centro sur y litoral oeste del Uruguay. *Congreso Paleógeno de América del Sur*, Actas: 15, La Pampa - Argentina.
- MARTINEZ, S.; VEROSLAVSKY, G. & VERDE, M. (en prensa). Primer registro Paleoceno en el Uruguay: paleosuelos calcáreos en la Cuenca de Santa Lucia. *Revista Brasileira de Geociências*, 27 (3), 1997.
- PEREA, D. & UBILLA, M., 1994. Tetrápodos pre-cenozoicos del Uruguay, II: comentarios sobre nuestros restos de titanosauridae (Departamento de Rio Negro). 1^{as} Jornadas de Paleontología del Uruguay, Actas: 13, Montevideo.
- RETALLACK, G., 1990. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. Harper Collins, London, 520pp.
- SANTA ANA, H. de; VEROSLAVSKY, G. & GONZÁLEZ, S., 1993. Geología de los sedimentos cretácicos de las Cuencas del Uruguay. *Acta Geologica Leopoldensia*, vol. 40: 140-143.
- SIMONE, L. R. & MEZZALIRA, S., 1997. The sistemic position of some Unionoidea bivalves from Bauru Group (Upper Cretaceous) of Brazil. *Revista Universidade de Guarulhos - Geociências*, II(6):63-65.
- SILVA, R.B. da; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R. 1994. *Groundwater calcretes: uma interpretação alternativa para os calcários da Formação Marília no Triângulo Mineiro*. In: *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 3, 1994. *Boletim...* Rio Claro, UNESP, p.: 85-89.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J. & SOBREIRO NETO, A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, n. 3, p.: 177-85.
- VEROSLAVSKY, G.; MARTINEZ, S. & SANTA ANA, H. de., 1997. Calcretes de aguas subterráneas y pedogénicas: génesis de los depósitos carbonáticos de la Cuenca de Santa Lucia, sur del Uruguay (Cretácico Superior? - Paleógeno). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, vol 4 (1): 25-35.
- VEROSLAVSKY, G. SANTA ANA, H. de; GOSO, C. & GONZÁLEZ, S., 1997. Calcretes y silcretas de la región oeste del Uruguay (Queguay), Cuenca de Paraná (Cretácico Superior - Terciario Inferior). *Revista Geociências (Unesp)*, vol. 16 (1): 205-224.