

PALEOSUELOS Y CALCRETES PEDOGÉNICOS DE LAS FORMACIONES FRAY BENTOS (OLIGOCENO-MIOCENO TEMPRANO), RAIGÓN (PLIOCENO TARDÍO-PLEISTOCENO MEDIO) Y LIBERTAD (PLEISTOCENO TEMPRANO A MEDIO)

Tófalo, O.R.¹; Morrás, H.² y Sánchez-Bettucci, L.³

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, FCEN, UBA, Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina. E-mail: rtofalo@gl.fcen.uba.ar

² Instituto de Suelos, CIRN-INTA, 1712 Castelar, Argentina.

³ Departamento de Geología y Paleontología, Universidad de la República, Uruguay

RESUMEN

La Formación Fray Bentos está integrada por depósitos loésicos a partir de los cuales se desarrollan paleosuelos y calcretes pedogénicos, entre los que se describen variedades tubulares y laminares que se habrían formado en climas semiáridos. Los primeros derivarían de rellenos calcáreos en una paleosuperficie de suelos Vertisoles. Los segundos se han generado por actividad de las plantas que desarrollaron raíces horizontales con el fin de obtener la máxima cantidad de agua retenida en la zona vadosa. La Formación Raigón de origen fluvial, presenta en el techo un paleosuelo bien estructurado generado bajo clima subhúmedo que permitió la iluviación de arcillas. La Formación Libertad está integrada por loess depositados durante intervalos glaciales y modificados por pedogénesis durante mejoramientos climáticos. El paleosuelo generado en la base de esta formación presenta horizontes B iluviales que se habrían originado bajo condiciones de clima húmedo.

PALABRAS CLAVE: paleosuelos, calcretes, paleoclimas, Cenozoico, Uruguay

INTRODUCCIÓN

Las formaciones cenozoicas Fray Bentos, Raigón y Libertad, constituyen el material parental de importantes niveles de paleosuelos y calcretes. Dado que estos resultan indicadores paleoclimáticos de relevancia, el propósito de este trabajo es dar a conocer las principales características que permiten inferir sus condiciones de formación.

La Fm. Fray Bentos (Bossi, 1966), (Oligoceno-Mioceno temprano), aflora en el oeste de Uruguay en la cuenca de Paraná y hacia el este en las cuencas de Santa Lucía y Merín. Está compuesta por sedimentos loésicos, paleosuelos, distintos tipos de calcretes y escasos y esporádicos depósitos de relleno de canal (Tófalo y Morrás, 2009). La Fm. Raigón fue definida por Goso y Bossi (1966) y aflora en las barrancas costeras del departamento de San José. Se le asigna edad Chapadmalense-Ensenadense (Plioceno tardío-Pleistoceno medio), (Perea y Martínez, 2004). Puede ser dividida en dos secciones con predominio de depósitos de

relleno de canal y ocasionales de planicie de inundación (Tófalo *et al.*, 2009). La Fm. Libertad fue definida por Goso y Bossi (1966) y aflora en los departamentos del suroeste del Uruguay. Se la ubica por criterios esencialmente estratigráficos en el Pleistoceno temprano a medio (Martínez y Ubilla, 2004). Según Bossi *et al.* (1998), incluye lodolitas macizas friables con arena gruesa dispersa y abundante carbonato de calcio. De acuerdo a Panario y Gutiérrez (1999), Tófalo *et al.* (2006; 2009) Tófalo y Morrás (2009) corresponde a depósitos loésicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Formación Fray Bentos

CALCRETES TUBULARES

Entre los calcretes pueden observarse variedades nodulares, brechosas, masivas y laminares y tubulares. Estos últimos calcretes (Tófalo y Morrás, 2009; Morrás *et al.*, 2009) están constituidos por unidades estructurales carbonáticas de morfología tubular, de desarrollo vertical variable (generalmente de 80-130 cm de longitud), de sección circular o pseudohexagonal que oscila entre 10 y 30 cm de diámetro, y que encierran en su interior una masa basal limosa y de color rosado. En corte vertical los tubos se presentan yuxtapuestos formando niveles continuos, con límite superior ondulado e inferior ondulado a irregular. Comúnmente, estos niveles presentan sectores de mayor potencia (de hasta 350 cm), límites convexos, que se alternan regularmente con otros de menor espesor (alrededor de 100 cm) y límites superior e inferior cóncavos, por lo que dichos límites aparecen desfazados en media longitud de onda. Sin embargo, en diversos sitios de las barrancas sobre el río Uruguay esos niveles tubulares aparentemente homogéneos y monogénicos, se revelan constituidos por dos niveles superpuestos cuyos límites se encuentran aproximadamente en fase, con tubos de distinto grado de orientación y/o separados por un material de menor grado de estructuración y menor contenido de carbonato de calcio.

En observaciones en planta el límite superior de estos niveles presenta un microrrelieve con un patrón circular o pseudohexagonal. El diámetro de las depresiones circulares oscila alrededor de los 300 cm en tanto la diferencia de altura entre microcrestas y el centro de las microdepresiones oscila generalmente entre los 20 y 30 cm, en coincidencia con las observaciones en corte vertical. Esta morfología y en particular del límite superior que responde a un microrrelieve "gilgai" de tipo normal, la estructura prismática muy gruesa, la existencia de unidades estructurales de orientación diagonal y la composición de la fracción fina, sugieren el desarrollo previo de suelos de tipo Vertisol. Las estructuras tubulares, en consecuencia, son interpretadas como rellenos calcáreos, fosilizando un patrón de fisuración

de una paleosuperficie de origen edáfico, a partir de la solubilización y migración de carbonatos de depósitos posteriores. Dado las condiciones de formación de los Vertisoles, se deducen para esta paleosuperficie condiciones climáticas subhúmedas con déficits hídricos estacionales, seguida de condiciones más áridas de sedimentación y carbonatación de las estructuras preexistentes.

CALCRETES LAMINARES

Tienen entre 1 m y 1,5 m de espesor y yacen sobre paleosuelos que han sido brechados, desplazados, reemplazados y cementados heterogéneamente por carbonato (Tófalo y Morrás, 2011). Alternan láminas subhorizontales de aproximadamente 2 a 3 mm de color naranja, con otras de hasta 1 cm de espesor castaño amarillentas. Las primeras están formadas por carbonato esparítico o microesparítico, mientras que las segundas pueden ser: 1) ricas en micrita con zonas esféricas a elipsoidales huecas o rellenas por esparita; 2) constituidas por terrígenos con bordes corroídos; 3) formadas por pelets calcificados y 4) micríticas con estructura alveolar septal.

Es común la presencia de estructuras esféricas rellenas por cristales isodiamétricos de calcita. Se observan algunas esferulitas silíceas y entre las láminas carbonáticas se intercalan finas y discontinuas láminas de menos de 0,5 mm de espesor de chert o calcedonia.

La presencia de láminas con material terrígeno es característica de ambientes en los cuales la sedimentación es escasa y episódica (Alonzo-Zarza, 2003). En los períodos entre cada episodio de sedimentación, se desarrollan raíces, que mueren al recomenzar la misma y el espacio que ocupaban es reemplazado por calcita. La sucesión de estos procesos determina la intercalación de láminas ricas en materiales detríticos con otras formadas por carbonato (Alonzo-Zarza, 1999). Las láminas micríticas con huecos centrales o núcleos esparíticos, sugieren calcificación de la corteza de la raíz (micrita) y no de la médula (poro) o de ambos (láminas de micrita con rellenos de esparita). La calcificación de la corteza se relaciona comúnmente con una asociación simbiótica de tipo *Micorriza* (Alonzo-Zarza, 1999), por lo que la calcificación habría comenzado estando la planta viva. La estructura alveolar-septal se interpreta como filamentos calcificados de hongos asociados a las raíces.

Las estructuras esféricas rellenas por cristales isodiamétricos de calcita, son semejantes a problemáticas estructuras denominadas *Microcodium* (Klappa, 1978). La presencia de esferulitas y finas bandas silíceas, pueden estar relacionadas a cianobacterias, que requieren exposición solar directa, lo que significa que se formaron en la interfase calcrete-atmósfera (Verrecchia *et al.*, 1995, Alonzo-Zarza, 2003).

La presencia de calcretes laminados puede ser usada como indicador de eventos de depositación, seguidos por períodos de estabilización y desarrollo de la cubierta vegetal.

Formación Raigón

Su tope está pedogenizado y los horizontes tienen textura franco-limosa, con estructuras poliédricas, revestimientos de arcilla y de manganeso y abundantes concentraciones de carbonato de calcio con diversas morfologías, incluyendo rizoconcreciones. Los análisis por difracción de rayos X indican que la arcilla dominante es la esmectita, acompañada por pequeña proporción de illita y caolinita. La susceptibilidad magnética arroja bajos valores, que oscilan entre $0.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ (Tófalo *et al.*, 2009). La presencia de arcillas iluviadas indica que se habría formado bajo condiciones ambientales subhúmedas, en tanto que los nódulos carbonáticos derivarían de procesos de decarbonatación de los sedimentos suprayacentes.

Formación Libertad

La Formación Libertad constituye el material parental de Molisoles y Vertisoles en la Región Sedimentaria Sudoeste (Durán *et al.*, 2010) e incluye en su base un paleosuelo truncado con un horizonte B iluvial (Tófalo *et al.*, 2006; 2009). El paleosuelo tiene textura franco-limosa, con un contenido máximo de arcillas del 25% en el horizonte Bt; la fracción arena varía entre 8 y 22 % entre los distintos horizontes, con predominancia de las fracciones de arena muy fina (50-100 μm) y media (250-500 μm). En la fracción arcilla predomina la esmectita, la que se halla en menor proporción que en la Formación Raigón pero mayor que en el suelo actual en la Formación Libertad. El pH en el paleosuelo oscila entre 6,5 y 7 y la CIC es elevada en todos los horizontes. Algunas de sus características morfológicas y composicionales son muy variables lateralmente, particularmente en cuanto al contenido de carbonato. En las barrancas de Mauricio el paleosuelo tiene dos espesos subhorizontes B con estructura en bloques, revestimientos arcillosos oscuros, algunas concentraciones de manganeso e importante porcentaje de carbonato de calcio, principalmente como rizoconcreciones. No tiene horizonte C y el horizonte B está soldado con el horizonte B de la Formación Raigón. En Arazatí el paleosuelo tiene un horizonte B iluvial más delgado y presenta la secuencia Bt-BC-C, no hay carbonatos y el horizonte inferior preserva las características del material loésico. La susceptibilidad magnética es mayor que en la Formación Raigón, con valores que se incrementan hacia la base tanto del paleosuelo ($1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ en el 2BC2b1) como en la del suelo actual ($1.7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ en el 2BC1). El análisis de los isótopos estables del carbono en el paleosuelo muestra valores de $\delta^{13}\text{C}$ que oscilan entre -23 y -24 ‰ que se corresponden con una vegetación de plantas de tipo C3 y con

un clima húmedo; esta relación isotópica se diferencia de valores de -19 ‰ en el Bt del suelo actual que se corresponde con una mezcla de plantas de tipo C3 y C4 adaptada a condiciones climáticas más contrastadas.

REFERENCIAS

- ALONZO-ZARZA, A., 1999. Inicial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from the Neogene of central Spain. *Sedimentary Geology* 126: 177-191.
- ALONZO ZARZA, A., 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60, 261-298.
- BOSSI, J., 1966. Geología del Uruguay. Colección Ciencias N° 2. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, 469 pp.
- BOSSI, J.; FERRANDO, L.; MONTAÑA, J.; CAMPAL, N.; MORALES, H.; GANCIO, F., SCHIPILOV, A.; PIÑEYRO, D. & SPRECHMANN, P., 1998. Carta geológica del Uruguay, escala 1:500.000. Geoeditores SRL, Montevideo. CD-ROM Versión 1.01.
- DURÁN, A.; MORRÁS, H.; STUDDERT, G. & LIU, X., 2011. Distribution, properties, land use and management of Mollisols in South America. *Chinese Geographical Science*, 21 (5): 511-530
- GOSO, H. & BOSSI, J., 1966. Cenozoico. En: Bossi, J. (Ed.), Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, pp. 259–305.
- KLAPPA, C. 1978. Biolithogenesis of *Microcodium*: elucidation. *Sedimentology* 24. 489-522.
- MARTÍNEZ, S. & UBILLA, M., 2004. El Cuaternario en Uruguay. En: VEROVSLAVSKY, G.; UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (Eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay. DIRAC, Montevideo, pp. 195–227. Capítulo IX.
- MORRÁS, H.; TÓFALO, O.R. & SÁNCHEZ-BETTUCCI, L., 2009. Calcretes Tubulares: un nuevo tipo de calcretes encontrados en la Formación Fray Bentos, Uruguay. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología-XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur. Trabajo 271.
- PANARIO, D. & GUTIÉRREZ, O., 1999. The continental Uruguayan Cenozoic: an overview. *Quaternary International* 62, 75–84.
- PEREA, D. & MARTÍNEZ, S., 2004. Estratigrafía del Mioceno–Pleistoceno en el litoral suroeste de Uruguay. En: VEROVSLAVSKY, G., UBILLA, M., MARTÍNEZ, S. (Eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay. DIRAC, Montevideo, pp. 105–124. Capítulo V.
- TÓFALO, O.R. & MORRÁS, H. 2009. Evidencias paleoclimáticas en sedimentitas continentales del Cenozoico de Uruguay. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (4): 674-686.
- TÓFALO, O.R. & MORRÁS, H., 2011. Calcretes laminares formados por raíces: Formación Fray Bentos (Oligoceno-Mioceno temprano), Uruguay. Congreso Geológico Argentino. CD: 1256-1257
- TÓFALO, O.R.; MORRÁS, H.; SÁNCHEZ, L.; PECCOITS, E.; AUBET, N.; ZECH, W. & MORETTI, L., 2006. Litofacies y Paleosuelos de las Fms. Raigón (Plioceno Tardío-Pleistoceno Medio) y Libertad (Pleistoceno Inferior-Medio?), Uruguay. III Congreso Argentino del Cuaternario y Geomorfología, I: 807-816.
- TÓFALO, O.R.; ORGEIRA, M.J.; MORRÁS, H.; VÁSQUEZ, C.; SÁNCHEZ, L.; PECCOITS, E.; AUBET, N.; GONZÁLEZ, G.; ZECH, W. & MORETTI, L., 2009. Geological, pedological and paleomagnetic study of the late Cenozoic sedimentary sequence in southwest Uruguay, South America. *Quaternary International*, 210: 6-17
- VERRECCHIA, E.; FREYTENET, P.; VERRECCHIA, K. & DUMONT, J., 1995. Spherulites in calcrete laminar crust: biogenic CaCO₃ precipitation as a major contributor to crust formation. *Journal of Sedimentary Research*, 65: 690-700.