

LOS CALCRETES DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA: CARACTERIZACIÓN Y ORIGEN

Mariela P. ETCHEVERRÍA y Alicia FOLGUERA

Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. E-mail: marietcheverria@hotmail.com

RESUMEN

El paisaje en el extremo sudeste de la provincia de La Pampa, Argentina, está caracterizado por un relieve de mesetas muy disectadas entre las que se encuentran grandes bajos. Éstas, rematan en calcretes parcialmente cubiertos por depósitos eólicos. Regionalmente se han distinguido tres niveles de calcretes que fueron determinados por su altura relativa y por los diferentes grados de preservación de sus características geomorfológicas primarias. Cada uno de ellos representa la culminación de un ciclo depositacional, tres en total, que tuvieron lugar durante el Mioceno tardío-Plioceno. El objetivo de esta contribución es caracterizar los dos niveles más antiguos y establecer su origen. Para ello se analizó el contexto regional, se describieron perfiles de detalle y se tomaron muestras para efectuar estudios de microscopía óptica. La morfología de los perfiles, los espesores y las evidencias de actividad biológica (laminación y fábrica beta) concuerdan con las características típicas de los calcretes pedogenéticos, a su vez, indican que en la región hubo períodos con reducido aporte clástico, con estabilidad tectónica y un clima semiárido y régimen de temperatura del suelo térmico.

Palabras clave: *Calcrete pedogenético, fábrica beta, pisolito, peloide*

ABSTRACT

The calcretes from the southeast extreme of the La Pampa province: characterization and origin

The landscape in the southeastern extreme of La Pampa province in Argentina is characterized by highly dissected plateaus with to large shallow areas, which end in calcretes partially covered by eolian deposits. Regionally, there are three levels of calcretes distinguished according to their relative height and the different degrees of preservation of their primary geomorphologic features. Each level represents the end of a depositional cycle, which took place during the late Miocene-Pliocene. The aim of this contribution is to characterize the two oldest levels and to determine their origin. For that purpose, the regional context was analyzed, profiles were described in detail and some samples were collected for their microscopic studies. The profile morphology, their thicknesses and the evidence of biological activity (thinning and beta fabric) coincide with the typical features of pedogenic calcretes which, in turn, demonstrate the existence of well-drained soils and also indicate that this region had periods of reduced clastic input, tectonic stability and a semiarid climate during those periods and termic soil.

Keywords: *Pedogenic calcrete, beta fabric, pisolith, peloid*

INTRODUCCIÓN

En el extremo sudeste de la provincia de La Pampa se preservan relictos de antiguas planicies aluviales que conforman un paisaje caracterizado por un conjunto de mesetas muy recortadas, ubicadas a diferentes alturas, que rematan en potentes calcretes y profundos valles longitudinales ocupados por salinas y lagunas tales como La Blanca Grande y Colorada Grande, entre otras.

La presente contribución es parte de las tareas llevadas a cabo para el levantamiento de la Hoja Geológica 3963-I, Río Colorado a escala 1:250.000 (Folguera *et al.*

2012), correspondiente al Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). El principal objetivo es caracterizar los calcretes aflorantes en el sudeste de la provincia de La Pampa, más precisamente los ubicados en el sector comprendido entre los paralelos 38° y 39° S y el límite interprovincial La Pampa-Buenos Aires y el meridiano 64° 30' O, y determinar su origen, como así también las condiciones paleoclimáticas y tectónicas imperantes al momento de su formación (Fig. 1).

Hasta el momento poco se sabe del origen de estos depósitos calcáreos. Si bien

ellos son comunes en toda la zona este de la provincia son escasas las contribuciones sobre el tema. Existen antiguas referencias en trabajos de índole regional como Tapia (1935), quien describió la existencia de tres niveles diferentes a los que denominó niveles de piedemonte y los de Grober (1947) y García y García (1964), quienes propusieron posibles orígenes y condiciones paleoclimáticas. Otros trabajos más modernos son los de Vogt *et al.* (1999) quienes los estudiaron regionalmente, abarcando gran parte de la provincia de La Pampa, y los de Calmels *et al.* (1996) y Lanzillota (2006), que analizaron los aflorantes en las barrancas

de las salinas Grandes de Anzoátegui y del valle Daza respectivamente. Linares *et al.* (1980) y la mayoría de los autores anteriormente mencionados consideraron a los calcretes como la sección cuspidal de los depósitos clásticos infrayacentes. Sin embargo, García y García (1964) los interpretaron como depósitos más modernos. Posteriormente, Folguera y Zárate (2009) determinaron que no correspondían a un solo ciclo de sedimentación y le dieron carácter formacional. Más recientemente, Etcheverría *et al.* (2009) en proximidades a la localidad de La Adela caracterizaron macro y microscópicamente un nivel de calcrete aflorante en la barranca norte del río Colorado.

METODOLOGÍA

Para caracterizar los calcretes aflorantes en el área de estudio se analizó el contexto regional mediante observaciones e interpretaciones geológicas, para ello se utilizaron imágenes Landsat y ASTER a escalas 1:250.000 y 100.000 y se procesaron, mediante el programa Global Mapper, imágenes SRTM para efectuar modelos de elevación digital con el propósito de lograr una correcta valoración de los diferentes niveles de calcretes presentes. Durante las tareas de campo se describieron perfiles de detalle en las secciones más completas, ya que lateralmente alguno de los sectores que integran el perfil suelen presentar menor desarrollo o faltar y se recolectaron muestras representativas. Los colores se obtuvieron por comparación con los patrones cromáticos del *Rock-Color Chart Committee* (1963). La determinación de las micromorfologías de los calcretes se hizo mediante estudios de microscopía óptica sobre secciones delgadas, mientras que para el tamaño de grano de las fracciones clásticas se siguió el orden establecido por la escala granulométrica de Udden-Wentworth.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

La estratigrafía de la región comprendida por este trabajo está poco estudiada



Figura 1: Mapa de ubicación.

(Fig. 2). Existe un basamento ígneo metamórfico subaflorante de edad proterozoica-paleozoica. Las unidades mesozoicas constituyen afloramientos pequeños y aislados y están representadas por areniscas y areniscas conglomerádicas rojas, de edad cretácica superior, asignadas a la Formación Colorado por Casadío *et al.* (1999; 2000). Los registros más antiguos del Neógeno corresponden a los sedimentos marinos limoarcillosos de la Formación Barranca Final (Kaasschieter 1965), del Mioceno medio a tardío, aflorantes en las partes más bajas de algunas de las grandes depresiones. Posteriormente al retiro del mar Paranense comienza la sedimentación continental con la depositación de las limolitas y areniscas de la Formación Cerro Azul (Llambías 1975). La edad de esta unidad, de amplia distribución en la región, fue asignada bioestratigráficamente a la edad mamífero (piso-edad) Huayqueriense, que señalaría, tentativamente, una edad miocena tardía entre 8,7 y 6,8 Ma (Montalvo y Casadío 1988; Verzi *et al.* 1999; Verzi *et al.* 2008; Verzi y Montalvo 2008). Sobre esta última se disponen los ciclos depositacionales granocrecientes I, II y III del Mioceno tardío-Plioceno, los cuales se apoyan sobre el inmediato inferior mediante contactos discordantes (Folguera y Zárate 2011); ciclos que Folguera *et al.* (2012) propusieron subdividir internamente de acuerdo a la litología y que denominaron como Areniscas de Los Viejos-Calcrete I (Ciclo I), Formación Río Negro-Rodados

del río Colorado-Calcrete II (Ciclo II) y Areniscas de La Blanca Grande-Calcrete III (Ciclo III). La columna se completa con unidades pleistocenas y holocenas, entre ellas sedimentos eólicos, areniscas fluviales y depósitos coluviales, aluviales y evaporíticos.

Geomorfológicamente en el modelado del paisaje dominaron principalmente los procesos fluviales y eólicos que, asociados a probables ascensos tectónicos del área, generaron un paisaje mesetiforme que pasa gradualmente hacia el este a un paisaje suavemente ondulado, dado por la cubierta loésica que enmascara este relieve previo. Gran parte de la región está formada por una extensa planicie aluvial muy disectada, donde se han detectado al menos tres antiguos niveles pedemontanos, que evidencian distintas etapas de reactivación y erosión. Esta forma de relieve generó un paisaje con mesetas escalonadas y profundamente recortadas por una importante disección, que llega a formar cerros testigo como el del Morro del Siete, que rematan en calcretes los que protegen de la erosión por lo que es común que se formen aleros y cornisas.

La disección es tan importante que el área se halla surcada por grandes bajos sin salida que presentan formas longitudinales que son imponentes por su gran amplitud y profundidad. Estas zonas deprimidas en algunos casos alcanzan la cota de 0 m o valores por debajo del nivel del mar (bajos Colorado Grande, La Blanca Grande, Negro, de los Chanchos y Gran-

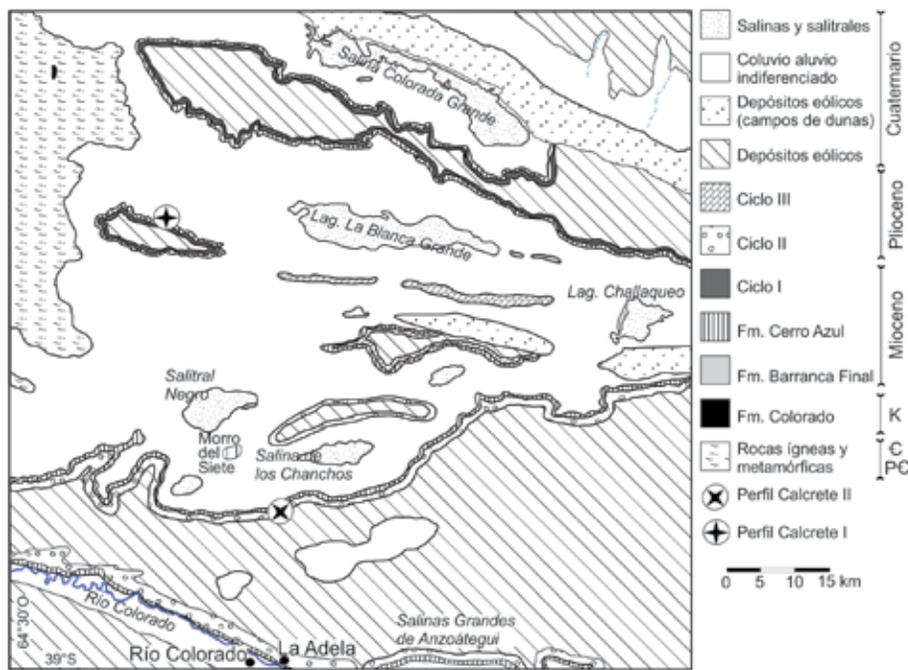


Figura 2: Esquema geológico regional, modificado de Folguera *et al.* (2012).

des de Anzoátegui). Los bajos tienen una red de drenaje del tipo centrípeto con colectores efímeros, y la mayoría, en las partes más profundas, contienen barreales, lagunas temporales y depósitos evaporíticos en cuyas márgenes suelen existir acumulaciones eólicas que forman campos de dunas.

Los laterales de mesetas y bajos tienen pedimentos y depósitos de bajadas. También es común en ellos ver pequeñas cárcavas o surcos generados por la erosión hídrica, dada por escurrimientos esporádicos concentrados; y conos de deyección producto de remoción en masa.

CARACTERIZACIÓN DE LAS MACRO Y MICROMORFOLOGÍAS DE LOS CALCRETES

Se han distinguido en la región tres niveles de calcretes que fueron determinados por su altura relativa y por los diferentes grados de preservación de sus características geomorfológicas primarias. Con cada uno de ellos culminan diferentes ciclos depositacionales que tuvieron lugar durante el Mioceno tardío-Plioceno. Estos depósitos tienen una suave pendiente hacia el este (de aproximadamente 0,08%)

y sus espesores no son constantes lateralmente; sobreyacen de manera discordante a depósitos aluviales del paleo-sistema del río Colorado y están parcialmente cubiertos por depósitos eólicos del Pleistoceno-Holoceno.

El Calcrete I, el más antiguo, se halla a una altura de 225 m s.n.m. y su espesor es variable, el máximo medido es de 2 m mientras que el mínimo es de 1,10 metros. Se dispone sobre un depósito de areniscas y areniscas conglomerádicas (Areniscas de Los Viejos) que en parte son su material hospedador. El Calcrete II se ubica a 130 m s.n.m., su espesor máximo y mínimo es de 1 m y de 0,70 metros. Sobreyace a areniscas y conglomerados polimícticos (Rodados del río Colorado). El Calcrete III se encuentra a una altura de 70 m s.n.m., tiene 0,5 m de espesor promedio y se ubica sobre areniscas finas y conglomerados (Areniscas de la Blanca Grande). La distribución areal de cada uno de estos niveles se puede observar en la figura 2. Hasta el momento se han estudiado detalladamente los dos niveles de calcretes más antiguos, el Calcrete III aún no ha sido caracterizado y en esta contribución sólo se lo utiliza como marco de referencia geológico-geomorfológico y para correlación.

El Calcrete I, de edad miocena tardía (Folguera *et al.* 2012), muestra el mayor grado de disección relativo, es de color blanquecino rosado y su perfil tipo consta, de abajo hacia arriba, de un sector de transición, uno laminado en partes brechado y uno pisolítico (Fig. 3). El sector de transición está formado por el material hospedador invadido por carbonato de color castaño grisáceo (10YR 7/4) que lo brecha parcialmente y forma tabiques irregulares, de espesores variables, que lo atraviesan en todas direcciones. El laminado es en general muy consolidado, de color castaño muy claro (10YR 8/2) y está constituido por láminas subparalelas, algo onduladas y con espesores que van desde 0,1 a 1 cm; este sector en partes, y principalmente hacia arriba, se encuentra brechado y recementado por carbonatos castaños oscuros (10YR 6/2), pasa en forma transicional al pisolítico. Éste último está bien consolidado y compuesto por cuerpos elipsoidales de hasta 6 cm, que le dan aspecto botroidal muy irregular, integrados por clastos de calcrete blanquecino (5Y 8/1) recubiertos por capas concéntricas de material carbonático castaño muy claro (10YR 8/2).

La microscopía reveló que el material hospedador es una arenisca muy fina, de 0,10 mm de tamaño de grano promedio, compuesta por clastos subredondeados a subangulosos y prismáticos a equidimensionales, formados por pastas volcánicas (andesitas y basaltos), cuarzo, feldespato, vidrio incoloro, minerales opacos, piroxeno, metamorfitas y hornblenda. El material hospedador está cementado por carbonato de calcio. Este último modificó la fábrica de la roca, pues al precipitar corroyó y desplazó los granos de forma tal que éstos flotan dentro de este cemento. El sector laminado está integrado por laminillas irregulares algunas integradas por clastos procedentes del material hospedador, otras formadas por cristales de calcita de diferentes tamaños y otras donde prevalecen los rasgos de fábrica beta. Es así como se definen laminillas (de hasta 2 mm) donde abundan granos con bordes corroídos y otros recubiertos, peloides cementados por carbonatos micríticos

hasta esparíticos y cavidades irregulares, algunas rellenas por carbonato esparítico y otras tapizadas por ópalo. Alternan con delgadas láminas (de hasta 7 mm) de carbonato micrítico con diferente contenidos de arcilla y materia orgánica y de carbonato micrítico masivo (Fig. 4). Es común también observar nódulos disórticos y restos de tejidos radiculares (corteza) donde se han preservado las paredes de las células (Fig. 5). Entre las láminas suelen intercalarse laminillas irregulares, muy finas y discontinuas de hasta 0,4 mm, compuestas por ópalo colofome y por calcedonia fibrosa y radiada.

El Calcrete II, de edad pliocena (Folguera *et al.* 2012), es en general de color blanquecino y su perfil tipo, de abajo hacia arriba, consta de un sector de transición, uno pulverulento y uno laminado en partes brechado (Fig. 3 y 6). El de transición está formado por una arenisca rosado-grisácea (5YR 7/2), que es el material hospedador del carbonato, que en parte lo cementa y en parte lo brecha formando tabiques irregulares de espesores variables. El pulverulento es friable, homogéneo, color castaño muy claro (10 YR 8/2) y está compuesto por material hospedador con abundante carbonato y escasos nódulos. El laminar está bien consolidado y formado por finas láminas ondulosas subhorizontales diferenciables por el tamaño de grano de los clastos y el color, las láminas con fracción más gruesa son castaño grisáceas (10YR 7/4) mientras que las con fracción más fina son castaño muy claras (10 YR 8/2). La parte superior del sector laminar se halla brechada, en cuerpos de hasta 2 cm, y recementada por carbonato muy fino de color castaño muy claro (10 YR 8/2).

El estudio de las secciones delgadas confirmó que el material hospedador es una arenisca compuesta por clastos subredondeados a subangulosos y de forma prismática a equidimensional, compuestos por pastas volcánicas (andesitas y basaltos), cuarzo, feldespato, vidrio incoloro, minerales opacos, piroxeno, metamorfitas y hornblenda cementados por carbonato. Este último modificó la fábrica del sedimento, ya que al precipitar brechó la ro-

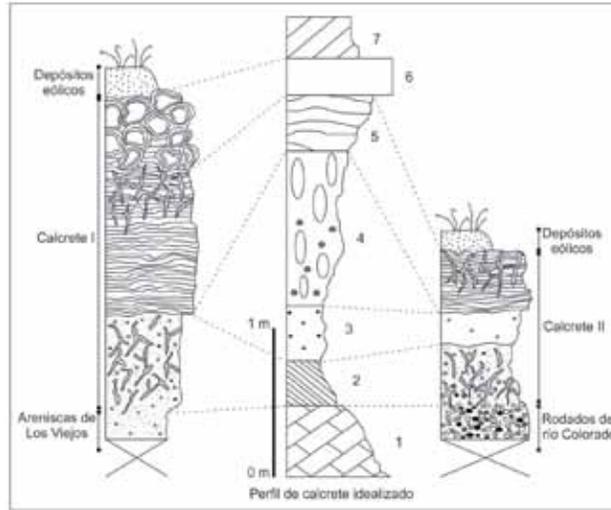


Figura 3: Perfiles esquemáticos de los Calcretes I y II y su correlación con el perfil de calcrete pedogenético idealizado de Esteban y Klappa (1983) extraído de Alonso-Zarza (2003). 1. material hospedador, 2. transicional, 3. pulverulento, 4. nodular, 5. laminar, 6. masivo (*hardpan*), 7. suelo activo. La escala vertical es común a los tres perfiles.

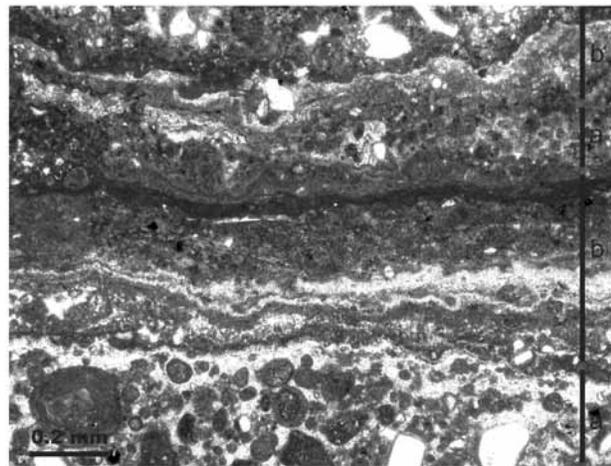


Figura 4: Fotomicrografía de una porción del sector laminado del Calcrete I donde se observan laminillas irregulares formadas por granos recubiertos y peloides, cementados por carbonatos micríticos hasta esparíticos (a), que alternan con delgadas láminas de carbonato micrítico con diferentes contenidos de arcilla y materia orgánica (b).

ca y además corroyó y desplazó los granos de forma tal que éstos flotan dentro de él. La laminación está dada por la alternancia de laminillas con espesores que oscilan entre 0,4 y 5 mm, formadas principalmente por material clástico tamaño arena fina y muy fina. El carbonato, asociado a arcillas y materia orgánica, constituye el 60% de las láminas donde predomina la fracción arena fina y el 80% de las formadas por la fracción arena muy fina. Además, se presenta en forma de peloides, de pisolitos y relleno de huecos irregulares, dando lugar a una típica fábrica beta. Los pisolitos son de carbonato micrítico con crecimiento concéntrico a partir de un grano o de un clasto brechoso. Los huecos son redondeados e irregulares y están rellenos o tapizados por carbonato esparítico. En los sectores brechados las laminillas aparecen fracturadas y cementadas por car-

bonato micrítico muy finamente laminado (Fig. 7).

CORRELACIONES

Con el fin de de integrar regionalmente todos los niveles de calcretes estudiados hasta el momento se establece la siguiente correlación (Cuadro 1).

García y García (1964) establecieron para la región del sudeste de provincia de La Pampa dos tipos fundamentales de calcretes a los que describieron brevemente y asignaron al Pleistoceno superior. Ambos tipos se corresponden con los Calcretes I y II aquí estudiados, dada la disposición areal que ocupan y las unidades a las que sobreyacen.

Calmels *et al.* (1996) caracterizó el calcrete aflorante en las barrancas de las salinas Grandes de Anzoátegui y adjudicó la va-

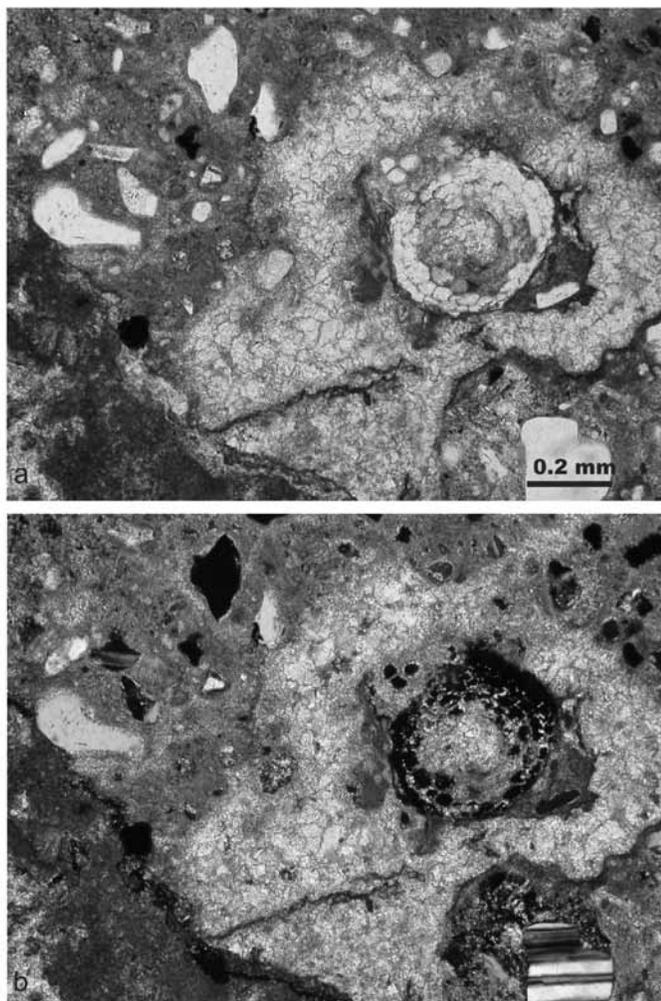


Figura 5: Fotomicrografía de una porción del sector laminado del Calcrete I donde se observa tejido radicular (corteza) petrificado rodeado de cemento microesparítico. Sin (a) y con analizador (b).

riación de carbonato en el perfil a cambios climáticos sobre la base de los intervalos de temperaturas necesarias para que precipite el carbonato de calcio. Lo consideraron de edad pleistocena. Este nivel, sobre la base de su altura relativa y de las unidades que a las que sobryace, se corresponde con el Calcrete II de este trabajo.

Vogt *et al.* (1999) analizaron la génesis de las toscas de la meseta de La Pampa y determinaron, de acuerdo a las cotas, la presencia de siete niveles de calcretes y de diferentes facies que son comunes a todos. Según estos autores se habrían generado en un ambiente palustre en el que el carbonato fue fijado por cianobacterias. Las edades que propusieron cubren el intervalo Plioceno-Pleistoceno superior. Siguiendo este esquema los calcretes aquí estudiados se corresponderían con los que estos autores consideraron como los dos niveles más jóvenes.

Lanzillota (2006), estudió en detalle dos niveles de calcretes aflorantes en las proximidades de Valle Daza, les asignó un origen pedogenético y edades posteriores al Mioceno tardío. De acuerdo a las cotas a las que se hallan estos calcretes serían más antiguos que los aquí estudiados y se correlacionarían con los niveles "4" (340-350 m) y "5" (390 m) de Vogt *et al.* (1999).

Etcheverría *et al.* (2009), en la región sur establecieron la presencia de dos niveles de calcretes. Al más antiguo, ubicado en la barranca norte del río Colorado en proximidades a la localidad de La Adela, lo caracterizaron macro y microscópicamente. De acuerdo a la micromorfología y a las particularidades del perfil sugirieron que se habrían formado por pedogénesis. La presencia, en menor medida, de fábrica alfa les hizo suponer que se produjo recristalización o bien que hubo un posible

aporte freático. Lo consideraron de edad pleistocena. Este calcrete, de acuerdo a su cota y a las unidades que sobryace, se correlaciona con el Calcrete II de esta contribución, mientras que el nivel más joven lo hace con el Calcrete III.

Escosteguy *et al.* (2011), en la región aleña a Choele Choele y norte del río Negro describieron brevemente un delgado calcrete que sobryace a facies intermedias-distales de antiguos abanicos aluviales. Por cota y unidades infrayacentes se lo correlaciona con el Calcrete II.

DISCUSIÓN

Se ha corroborado la presencia de tres niveles diferentes de calcretes dadas sus características geomorfológicas. Ellos ponen de manifiesto la existencia de paleosuperficies e indicarían que su formación se llevó a cabo en diferentes lapsos a medida que se producía la disección del paisaje en forma escalonada.

Los calcretes se desarrollan con mayor rapidez en sustratos con tamaño de grano grueso (Alonso-Zarza 2003). Si bien aquí los materiales hospedadores son areniscas finas y muy finas, éstas habrían sido lo suficientemente permeables para favorecer la circulación descendente de soluciones vadosas saturadas en carbonato cálcico. Diferentes procesos (físicos, químicos y biológicos) provocaron la precipitación y por ende la formación de las costras calcáreas.

Los rasgos macro y micromorfológicos observados en los dos calcretes más antiguos (desarrollo de perfil y fábrica beta, entre otros) indican que la precipitación del carbonato ocurrió en el ambiente vadoso superficial de la pedogénesis. La variabilidad de espesores reflejaría variaciones laterales relacionadas a la topografía y a microrelieves. Los perfiles tipo que presentan son comparables a parte del perfil ideal de un calcrete pedogenético (Esteban y Klappa 1983, en Alonso-Zarza 2003) (ver Fig. 3).

Los perfiles y los espesores promedio de ambos, a los que se suman las evidencias de actividad biológica (laminación y micromorfología de fábrica beta) concuer-

CUADRO 1: Correlación regional de los diferentes niveles de calcretes.

García y García (1964)	Calmels <i>et al.</i> (1996)	Vogt <i>et al.</i> (1999)	Lanzillota (2006)	Etcheverría <i>et al.</i> (2009)	Escosteguy <i>et al.</i> (2011)	Este trabajo
		Nivel de 440 m s.n.m. meseta del Fresco				
		Nivel de 410 m s.n.m. cruce ruta 18 y 13				
		Nivel de 390 m s.n.m. El Durazno				
		Nivel de 350-340 m s.n.m. Fortín Viejo-Cerro Patagua	Costra calcárea de la superficie de erosión I Cerro Patagua			
		Nivel de 290-280 m s.n.m. valle de Quehué	Costra calcárea de la superficie de erosión II Loma Alta			
Costra calcárea lagunas Colorada Grande y Blanca Grande, salina El Chanco		Nivel de 240-230 m s.n.m. Naicó-valle de Quehué				Calcrete I 225 m. s.n.m
Costra calcárea zona austral	Costra calcárea Salinas Grandes de Anzoátegui	Nivel de 180-140 m s.n.m. sobre aluviones que cubren el Pampeano		Calcrete nivel I Río Colorado-La Adela	Calcrete Choele Choe- norte del río Negro	Calcrete II 130 m s.n.m
				Calcrete nivel II sector sur del salitral Grande		Calcrete III 70 m s.n.m

dan con las características de los calcretes pedogenéticos. Este tipo de calcretes se genera en sedimentos bien drenados y por encima de la freática.

El sector de transición se generó por la desagregación del sustrato, esto habría ocurrido en la evolución inicial de los perfiles debido a la pedogénesis del material parental y al movimiento descendente del agua a través de él. El sector pulverulento se habría generado en una etapa más avanzada donde el carbonato se acumuló en forma discontinua pero siempre asociado a la presencia de raíces y microorganismos. Para el origen del laminado se propone la acción directa de las raíces, donde en un paso más de la evolución del perfil la precipitación del carbonato obstruye los espacios porales e impide el paso del agua a niveles inferiores, lo que provoca que los sistemas de raíces en su estrategia para obtener agua, cambien sus diseños y comiencen a extenderse lateralmente, su posterior calcificación habría dado lugar a este sector. Según Alonso-Zarza (2003) el incremento de carbonato de calcio en el perfil dificulta el desarrollo de la biota, y los procesos pedogenéticos disminuyen o se detienen. Seguidamente, la costra calcárea al quedar expuesta o sometida a nuevos procesos pedogenéticos

se brecha y se recementa. Si el proceso pedogenético disminuye un sector brechado puede estar reflejando ciclos de humectación-desección, mientras que si se detiene demuestra principalmente el accionar de raíces. Este último, puede ser lo suficientemente importante como para formar un sector pisolítico, tal como ocurre con el Calcrete I.

En ambos calcretes, un origen pedogenético queda evidenciado por rasgos micromorfológicos típicos de una fábrica beta. Entre éstos se hallan los peloides y los pisolitos (que indican acción microbiana principalmente fúngica), mientras que los huecos irregulares, la laminación y las láminas fracturadas y cementadas por carbonato micrítico laminar, sumados a los restos de tejidos radiculares (observados en el calcrete I) ponen de manifiesto la existencia de raíces.

Según Alonso-Zarza (2003) la existencia de láminas con material terrígeno es típica de ambientes donde la sedimentación es escasa y episódica. En los dos niveles se observaron laminillas con material clástico de diferente tamaño de grano, lo que estaría poniendo en evidencia que existió un escaso aporte sedimentario silicoclástico episódico de posible origen eólico, a juzgar por sus características tex-

tales. La alternancia de láminas ricas en material clástico y en carbonato sugieren que entre cada episodio de sedimentación hubo tiempo para la generación de raíces, las que posteriormente murieron ante un nuevo aporte clástico y el espacio por ellas ocupado fue reemplazado por calcita.

Las cavidades irregulares vacías y rellenas por carbonato esparítico representan moldes y calcos de raíces, mientras que la presencia de tejidos radiculares petrificados en el Calcrete I, donde se han preservado las paredes de las células, indican que el proceso de calcificación comenzó cuando la planta estaba todavía viva (Alonso-Zarza 1999; 2003).

El Calcrete I presenta sílice amorfa que se manifiesta en forma de laminillas irregulares de ópalo colorforme y de calcedonia fibrosa y radiada intercalados entre láminas y ópalo que tapiza cavidades. Su existencia tiene tres posibles orígenes: dada la presencia de granos corroídos, 1) podrían ser precipitados provenientes de la sílice movilizada como consecuencia de la alteración de feldespatos y vidrios volcánicos ocasionados por actividad fúngica (Vogt *et al.* 1999); 2) haberse generado durante el proceso de calcretización, donde el carbonato disuelve la sílice, la cual migra y luego precipita; 3) la sílice fibrosa



Figura 6: a) Aspecto general que presentan los afloramientos del Calcrete II. Nótese la forma de alero que adopta por erosión diferencial el sector laminado; b) Detalle donde se observan los diferentes sectores del perfil.

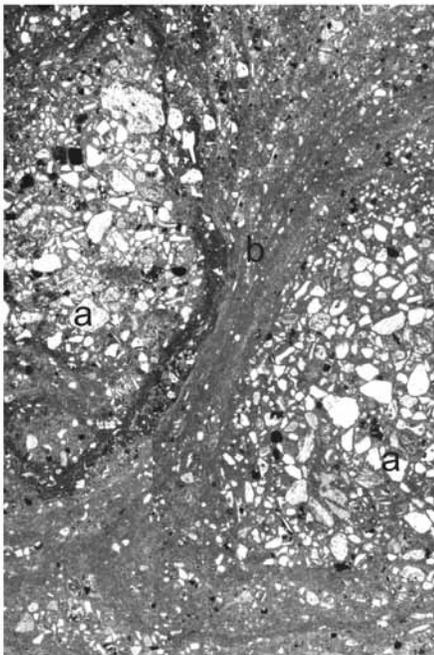


Figura 7: Fotomicrografía de una porción del sector brechado del Calcrete II donde se observa una laminilla compuesta por material clástico (a), fracturada en forma perpendicular y cementada por carbonato micrítico muy finamente laminado (b).

y radiada ha sido relacionada a la actividad de cianobacterias por Alonso-Zarza (2003), éstas requieren directa exposición solar lo que sugiere que su formación se habría llevado a cabo en la interfase calcrete-atmósfera. De acuerdo a las micro-morfologías observadas se propone que la combinación de los procesos 1 y 2 serían los responsables de la precipitación de la sílice.

Según la literatura el carbonato puede provenir de variadas fuentes, entre ellas el agua de lluvia, el polvo eólico y el material hospedador. En nuestro caso la presencia de finas láminas clásticas de pro-

bable origen eólico hace suponer que el polvo eólico fue la principal fuente.

Grober (1947) propuso para la zona un régimen climático de inviernos fríos y húmedos y de veranos secos y relativamente cálidos. Calmels *et al.* (1996) sugirieron un clima cálido y Vogt *et al.* (1999) los asociaron a condiciones de muy fuerte aridez. El clima es uno de los factores condicionantes de la ubicación del máximo contenido de carbonato en el perfil del calcrete. Tanto Calmels *et al.* (1996), para el calcrete correlacionado con el Calcrete II, y Vogt *et al.* (1999) para el correlacionado con el Calcrete I, calcularon el contenido de carbonato a lo largo de los perfiles y demostraron que el mayor contenido se ubica en la parte media a superior de ambos, donde alcanza un 85 %. Esta ubicación, de acuerdo a los gráficos de profundidad versus concentración de carbonato de Wright y Tucker (1991), indica que el clima imperante al momento de su formación habría sido un semiárido térmico, donde la temperatura máxima del suelo es mayor a los 15°C pero no supera los 22°C.

El desarrollo de un perfil de calcrete necesita una superficie geomórfica relativamente estable durante el tiempo que se requiera para que actúen los procesos pedogenéticos y diagenéticos (Machette 1985 en Alonso-Zarza y Jones 2007) es por ello que se los puede utilizar para identificar paleosuperficies. De hecho la preservación de estas superficies de sedimentación miocena tardía y pliocena respectivas, dan indicios de importantes cambios en el nivel de base del área, lo que permitió sugerir ascensos de origen tectónico tal como lo hiciera Folguera (2011).

CONCLUSIONES

En la región estudiada se han diferenciado geomorfológicamente tres niveles de calcretes asignados por (Folguera y Zárate 2011) al Mioceno tardío-Plioceno. Los dos más antiguos han sido analizados en detalle mientras que el más moderno ha sido utilizado como marco de referencia y de correlación. Ellos representan paleosuperficies que indican ascensos tectónicos que dispararon cambios de nivel de base en el área.

Los sedimentos hospedadores fueron lo suficientemente permeables para permitir la circulación descendente de soluciones saturadas en carbonato cálcico.

Dadas las características macro y micro-morfológicas que presentan ambos calcretes se determinó que su origen es pedogenético y que se habrían generado por encima de la freática en un ambiente donde la topografía variaba lateralmente y donde existían microrelieves. Además, este ambiente recibía un aporte terrígeno escaso y episódico de origen eólico.

Se considera que la fuente principal de carbonato habría sido el polvo eólico y que los precipitados de sílice amorfa provienen de la sílice movilizada por la actividad fúngica y por el proceso de calcretización.

Se propone que el paleoclima imperante al momento de la formación de los calcretes fue del tipo semiárido con un régimen de temperatura del suelo térmico.

La existencia de estas costras calcáreas en la región permite interpretar la alternancia de períodos de gran estabilidad donde prevaleció la estabilización de la superficie y el desarrollo de la biota, con escaso

aporte sedimentario, con otros de ascenso del área y cambio de nivel de base que provocaron la exhumación de la superficie y su consecuente disección y formación de un nuevo nivel de sedimentación a cotas más bajas.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Geológico Minero Argentino por permitir la publicación de esta contribución y a las Dras. Rita Tófalo y Perla Imbellone por las sugerencias realizadas que contribuyeron a mejorarla.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alonso-Zarza, A.M. 1999. Inicial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from the Neogene of central Spain. *Sedimentary Geology* 126: 177-191.
- Alonso-Zarza, A.M. 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine and calcretes in the geological record. *Earth Science Reviews* 60: 261-298.
- Alonso-Zarza, A.M. y Jones, B. 2007. Root calcrete formation on Quaternary karstic surfaces of Grand Cayman. *Geologica Acta* 5: 77-88.
- Calmels, A.P., Aldacour, H.E., Fernández, E. y Carballo, O.C. 1996. Las unidades litoestratigráficas de Anzoátegui, provincia de La Pampa. 6° Reunión Argentina de Sedimentología y 1° Simposio de Arcillas. Actas: 97-104. Bahía Blanca.
- Casadío, S., Montalvo, C., Parras, A. y Manera, T. 1999. Paleontología y sedimentología de las sedimentitas continentales del cretácico superior aflorantes en el sureste de La Pampa. Jornada de Ciencia y Técnica UNLPam, Trabajos de Investigación, Resúmenes: 66-67. Santa Rosa.
- Casadío, S., Manera, T., Parras, A., Montalvo, C. y Cornachione, G. 2000. Primer registro en superficie de sedimentitas continentales del Cretácico superior en la Cuenca del Colorado, sureste de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55: 129-133. Buenos Aires.
- Escosteguy, L., Etcheverría, M.P., Folguera, A., Franchi, M., Faroux, A.J. y Getino, P.R. 2011. Hoja Geológica 3966-IV, Choel Choel. Provincia de Río Negro. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 398, 38 p. Buenos Aires.
- Etcheverría, M.P., Folguera, A., Miranda, F., Faroux, A.J., Getino, P.R. y Dalponte, M.R. 2009. Hojas Geológicas 3963-III/IV, Colonia Juliá y Echarren / Pedro Luro. Provincias de Río Negro, Buenos Aires y La Pampa. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 382, 61 p. Buenos Aires.
- Folguera, A. 2011. La reactivación neógena de la Pampa Central. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. (Informe inédito). 190 p.
- Folguera, A. y Zárate, M. 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64: 692-712.
- Folguera, A. y Zárate, M. 2011. Neogene sedimentation in the Argentine foreland between 34°30'S and 41°S and its relation to the Andes evolution, in Salfity, J.A. and Marquillas, R.A. (eds.) *Cenozoic geology of the Central Andes of Argentina*: Salta, SCS Publisher. 123-134.
- Folguera, A., Etcheverría, M., Zárate, M., Miranda, F., Faroux, A. y Getino, P. 2012. Hoja Geológica 3963-I, Río Colorado. Provincias de Río Negro, Buenos Aires y La Pampa. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Inédito (entregado 2012). Buenos Aires.
- García, J. y García, O.M. 1964. Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (provincias de Buenos Aires y La Pampa). Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 96: 1-94. Buenos Aires.
- Groeber, P. 1947. Reseña geológica de la provincia de Buenos Aires, en Geografía. Instituto Nacional Superior Profesional, 1 (1): 5-13. Buenos Aires.
- Kaasschieter, J.P.H. 1965. Geología de la cuenca del Colorado. 2° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 3: 251-271. Tucumán.
- Lanzillotta, R. 2006. Costras calcáreas y geomorfología del área del Valle Daza, Departamentos Loventué y Utracán, provincia de La Pampa. Tesis de Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de La Pampa (inédito), 47 p., Santa Rosa.
- Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C.O. 1980. Geología de la provincia de La Pampa y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35 (1): 87-146. Buenos Aires.
- Llambías, E.J. 1975. Geología de la provincia de La Pampa y su aspecto minero. Dirección de Minas de la provincia de La Pampa. Informe inédito. Santa Rosa.
- Montalvo, C.I. y Casadío, S. 1988. Presencia del género *Palaeoctodon* (Rodentia, Octodontidae) en el Huayqueriense (Mioceno tardío) de la Provincia de La Pampa. *Ameghiniana* 25: 111-114.
- Rock-Color Chart Committee 1963. *The Geological Society of America*, New York. Reprinted.
- Tapia, A. 1935. Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. *Boletín General Industria y Minería* 40: 1-124.
- Verzi, D.H. y Montalvo, C.I. 2008. The oldest South American Cricetidae (Rodentia) and Mustelidae (Carnivora): Late Miocene faunal turnover in central Argentina and the Great American Biotic Interchange: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 267: 284-291.
- Verzi, D.H., Montalvo, C.I. y Vucetich, M.G. 1999. Afinidades y significado evolutivo de *Neophanoms biplicatus* (Rodentia Octodontidae) del Mioceno tardío-Plioceno temprano de Argentina. *Ameghiniana* 36: 83-90.
- Verzi, D.H., Montalvo, C.I. y Deschamps, C.M. 2008. Biostratigraphy and biochronology of the Late Miocene of central Argentina: evidence from rodents and taphonomy. *Geobios* 41:145-155.
- Vogt, T., Carballo, O. y Calmels, A.P. 1999. Un esbozo de la explicación de la génesis de las toscas de la meseta de La Pampa. 1° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología: 195-206. La Pampa.
- Wright, V.P. y Tucker, M.E. 1991. Calcretes: an introduction. En Wright, V.P. y Tucker, M.E. (eds.) *Calcretes*. IAS Reprint Series, vol. 2: 1-22. Blackwell, Oxford.

Recibido: 23 de setiembre,
Aceptado: 8 de julio, 2013