

ESTUDIO COMPOSICIONAL DE SEDIMENTITAS SILICOCLASTICAS Y PALEOSUELOS DE LA FORMACIÓN MERCEDES (CRETÁCICO SUPERIOR), URUGUAY

Ofelia R. TÓFALO¹, Pablo J. PAZOS^{1,2} y Leda SÁNCHEZ BETTUCCI³

¹ IDEAN, Departamento de Ciencias Geológicas, FCEN, UBA, Buenos Aires. E-mail: rtofalo@gl.fcen.uba.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). E-mail: pazos@gl.fcen.uba.ar

³ Departamento de Geología y Paleontología, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. E-mail: leda@fcien.edu.uy

RESUMEN

La composición y textura de las epiclastitas y la micromorfología de los paleosuelos de la Formación Mercedes, aflorante en el oeste y sur de Uruguay, permitieron determinar áreas de procedencia, marco tectónico de las zonas de aporte, procesos diagenéticos y variaciones paleoclimáticas en el Cretácico Superior de la cuenca de Paraná. La composición de las epiclastitas define dos sectores de distinta procedencia, con límite transicional; en el norte dominan clastos de la Formación Arapey (volcanitas), con menor aporte de la Formación Guichón (areniscas) y del basamento precámbrico (metamorfitas y plutonitas). En el centro-sur dominan los últimos, son escasos los de la Formación Arapey y no hay participación de la Formación Guichón. El marco tectónico del área de aporte es cratónico, variando entre interior cratónico y continental transicional. El predominio de granos estables sobre metaestables e inestables, indica que las epiclastitas se depositaron bajo un clima cálido y húmedo. El aumento de clastos metaestables alterados en la zona centro-sur, sugiere mayor proximidad al área fuente. Los procesos diagenéticos no han actuado uniformemente, por lo que la porosidad de las rocas es variable, con predominio de la de tipo secundario por disolución. Los más importantes son: iluviación de arcillas y óxidos de hierro, recristalización y neoformación de arcillas, precipitación de carbonato de calcio, sílice y disolución. En el tope de la unidad se desarrollan paleosuelos, vinculados a la colmatación de la cuenca y a estabilidad tectónica, que permiten inferir un cambio climático, ya que la presencia de palygorskita y de arcillas iluviales indican clima cálido subárido, pero con marcados cambios estacionales de humedad.

Palabras clave: *Cretácico Superior, sedimentitas continentales, paleosuelos, marco tectónico, cuenca de Paraná.*

ABSTRACT

Compositional study of siliciclastics sandstones and paleosoils from the Mercedes Formation (Upper Cretaceous), Uruguay.

The composition and textures of epiclastic sedimentary rocks from the Mercedes Formation and the micromorphology of its paleosoils are described in order to study the provenance areas, the tectonic framework, the paleoclimatic fluctuations and the diagenetic processes affecting this unit during the Upper Cretaceous. The Mercedes Formation is located to the west and south of Uruguay, in the Parana Basin. The combined provenance analyses on conglomerates and sandstones show two different source areas with a transitional boundary between them. Towards the north, the volcanic clasts from the underlying Arapey Formation predominate while there is a minor input from the sandstones of the Guichón Formation and from metamorphic and plutonic sources (Precambrian basement). Besides, in the central-south area the Precambrian clasts are dominant, and fragments from the Arapey Formation are scarce, while here, the Guichón Formation is not a source unit. The sandstone petrography shows interior to continental transitional cratonic provenance. Stable grains are more abundant than metastables and instables suggesting that the sediments were deposited under warm and humid climates. The increase of metaestables altered clasts in the central-south, suggests a near source area. The diagenetic processes were not uniform resulting in a variable porosity distribution, with a predominance of secondary porosity due to dissolution. The recognized processes are clay and iron oxides illuviation, clay neoformation and recrystallization, carbonate and silica precipitation and dissolution. The uppermost section of this unit has paleosoils, related to the complete infilling of the basin and tectonic quiescence, that suggest a change in the climate, the presence of palygorskite and illuvial clays imply a semiarid seasonal climate.

Keywords: *Upper Cretaceous, continental sedimentary rocks, paleosoils, tectonic framework, Paraná Basin.*

INTRODUCCIÓN

La composición de las rocas epiclásticas está relacionada con la roca madre, el clima y relieve del área de aporte, el agente de transporte y procesos de depositación, la distancia recorrida, la diagénesis y también con la metodología adoptada para el estudio petrográfico (Dickinson y Suczek 1979, Dickinson *et al.* 1983, Mack 1984, Ricci Lucchi 1985, Basu 1985, McBride 1985, Dickinson 1985, Zuffa 1985, Blasi y Manassero 1989, Scasso y Limarino 1997, Morrás 2003, Etchichury y Tófaló 2004, entre otros).

Los paleosuelos son importante indicadores paleoclimáticos dado que su existencia y tipo dependen de la combinación de distintos factores, tales como: clima, material parental, relieve, biota y tiempo y de los procesos formadores: adiciones, transferencias, translocaciones y pérdidas, (Buol *et al.* 1991, Porta Casanellas *et al.* 1994). En los últimos años los estudios micromorfológicos de paleosuelos han adquirido importancia relevante y se consideran indispensables para una correcta interpretación de los mismos (Zárate *et al.* 2002, Zárate 2003, Kemp *et al.* 2006, Zárate *et al.* 2009, Tófaló *et al.* 2011). La presencia de paleosuelos bien desarrollados indica escaso aporte sedimentario terrígeno y condiciones de estabilidad tectónica.

La composición de la fracción clástica de la Formación Mercedes, aflorante en las cuencas de Paraná y Santa Lucía, ha dado lugar a diversos trabajos, usualmente locales o muy generales, desde que fuera descrita por primera vez por Lambert (1939, 1940). Posteriormente Serra (1945) se refirió sucintamente a los materiales obtenidos de una perforación realizada en la ciudad de Mercedes (Uruguay), que junto con los afloramientos de la margen izquierda del río Negro, en dicho país, constituyen la sección tipo de esta unidad.

Más recientemente Bossi y Navarro (1991) indican que la unidad está constituida por conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas (cuarzo-feldespáticas), ce-

mentadas por sílice y carbonato. Gancio y Ford (1990a y b), proponen dividir a la Formación Mercedes en dos miembros, el inferior constituido principalmente por psefitas matriz soportadas que gradan a areniscas y el superior formado por areniscas cuarzosas con matriz arcillosa, en las que se encontraron cáscaras de huevos de dinosaurios.

Chebli *et al.* (1989) describen sintéticamente los depósitos clásticos y carbonáticos del Cretácico Superior, entre los que incluyen a las Formaciones Puerto Yerúa (Argentina) y Guichón, Mercedes y Asencio (Uruguay). Tófaló *et al.* (2002), hacen una breve descripción de la composición macro y microscópica de las sedimentitas epiclásticas. Por su parte, Goso y Perea (2004) proponen agrupar a las distintas litologías en tres miembros. El Miembro del Chileno (basal) formado predominantemente por areniscas muy gruesas hasta conglomerados polimícticos y subordinadamente por areniscas cuarzosas. El Miembro Yapeyú constituido principalmente por areniscas feldespáticas y en menor medida por pelitas y pelitas arenosas y el Miembro del Palacio (superior), de carácter edafoestratigráfico (Geosuelo del Palacio), compuesto por areniscas finas ferrificadas.

Recientemente Tófaló y Sánchez Bettucci (2010) indican que la composición de conglomerados y areniscas permite definir dos sectores de distinta procedencia. El objetivo de este trabajo es analizar las características composicionales de las sedimentitas epiclásticas y paleosuelos de la Formación Mercedes, particularmente en lo concerniente a su variabilidad geográfica, establecer sus áreas de procedencia, determinar el marco tectónico del área de aporte e inferir las condiciones paleoclimáticas.

MARCO ESTRATIGRÁFICO

El escudo uruguayo está formado por bloques de corteza de diferente petrología e historia geológica, asociados a rocas magmáticas y supracorticales que alcanzaron estabilidad tectónica relativa al fi-

nal del Cámbrico y principio del Ordovícico (Rapela *et al.* 2007). Recientemente, Sánchez Bettucci *et al.* (2010) lo dividen en cinco unidades mayores: Craton del Río de La Plata (CRP), Terreno Tectonoestratigráfico Nico Pérez (TTNP), Cinturón Dom Feliciano (CDF), *Basement Inliers* en el Cinturón Dom Feliciano (BI CDF), Sistemas extensionales del Mesozoico (SEM). El resto del territorio uruguayo está ocupado por tres cuencas fanerozoicas: Paraná, Santa Lucía y Merín (Fig. 1), además de depósitos actuales.

La sedimentación cretácica en la cuenca de Paraná comienza con los depósitos de la Formación Guichón, denominados Areniscas de Guichón por Lambert (1940). En discordancia suprayace la Formación Mercedes, llamada “areniscas conglomerádicas” o “areniscas conglomerádicas superiores” por Lambert (1939, 1940). Ambas unidades son elevadas al rango de formación por Bossi (1966), quien también incluyó dentro del Cretácico a la Formación Asencio (Cuadro 1).

El espesor de la Formación Guichón varía desde algunos metros a más de 100 m en perforaciones (Goso y Perea 2004) y está compuesta por depósitos fluviales distales formados por ortoconglomerados polimícticos medianos a finos, generalmente con fábrica matriz-sostén y gradación normal y areniscas muchas veces bioturbadas, masivas o con estratificación cruzada. Se han reconocido hacia el tope de la formación depósitos eólicos constituidos por areniscas con abundante estratificación entrecruzada (Tófaló y Pazos 2010).

La Formación Mercedes cuya potencia es de alrededor de 100 m en perforaciones (Goso y Perea 2004), es de origen fluvial y de acuerdo con Chebli *et al.* (1989) corresponde a depósitos de canales entrelazados a entrelazados distales de baja sinuosidad. La sucesión es típicamente granodecreciente con abundante estratificación entrecruzada y escasos depósitos de grano fino.

Formación Asencio está circunscripta al sector SO de Uruguay e integrada por una sucesión silicoclástica roja con trazas

fósiles de insectos (Cuadro 1), atribuida al Eoceno temprano (Bellosi *et al.* 2004). Estas tres unidades se agrupan en Argentina en la Formación Puerto Yeruá. Pazos *et al.* (1998) presentan una nueva interpretación estratigráfica del Cretácico Superior del Uruguay aunando criterios lito y aloestratigráficos en la definición de unidades formacionales (Cuadro 1). Dan a conocer una discontinuidad denominada paleosuperficie Yapeyú, ubicada entre los miembros Yapeyú y del Palacio de la Formación Asencio (Bossi y Navaro 1991), que indica un evento de edafización regional y el fin de un ciclo sedimentario, por lo que el Miembro Yapeyú quedaría asimilado a la Formación Mercedes. Recientemente Tófaló y Pazos (2010) caracterizan e interpretan la génesis de los calcretes, carbonatos palustres y silcretos del sur de la cuenca de Paraná (Uruguay), relacionados con la Formación Mercedes, que constituye el principal material hospedador de calcretes y silcretos.

Alonso-Zarza *et al.* (2011), infieren que los carbonatos observados en las cuencas de Paraná y Santa Lucía constituyen dos unidades, una cretácica localizada en el tope de la Formación Mercedes y otra del Eoceno medio-Oligoceno medio, que suprayace los depósitos de la Formación Asencio (Cuadro 1).

METODOLOGÍAS

Se levantaron perfiles de detalle y se realizaron observaciones geológicas en la cuenca de Paraná, en el sector oeste de Uruguay, donde se encuentran los principales afloramientos de la Formación Mercedes (Fig. 1). Las determinaciones de color se hicieron por comparación con los patrones cromáticos del *Rock Color Chart Committee* (1951).

Cuarenta y cuatro muestras de roca fueron estudiadas microscópicamente, teniendo en cuenta sus características texturales y composicionales. Las rocas silicoclásticas se clasificaron según Folk *et al.* (1970) y los paleosuelos se describieron de acuerdo a Bullock *et al.* (1985) y Stoops (2003). Para lograr una mejor caracte-



Figura 1: Mapa de ubicación y localidades muestreadas: 1. meseta de Artigas, 2. zona de Paysandú, 3. sector sur de Guichón, 4. arroyo Vera, 5. sector sur de Mercedes.

CUADRO 1: Marco estratigráfico.

Era/Período	Época/Edad	Estratigrafía		Tófaló y Pazos	Alonso-Zarza	
		Bossi <i>et al.</i> (4)	Pazos <i>et al.</i> (5)	(7)	<i>et al.</i> (8)	
Cenozoico	Oligoceno-Mioceno (3)	Formación Fray Bentos	Formación Fray Bentos	Formación Fray Bentos	Formación Fray Bentos	
	Eoceno medio-Oligoceno medio				Formación Queguay	
	Eoceno temprano (2)		Formación Asencio	Formación Asencio	Formación Asencio	
	Paleoceno (6)			Formación Queguay		
Mesozoico Cretácico	Maastrichtiano Campaniano (1)	Formación Asencio	Miembro del Palacio	YP (5)	YP	
			Miembro Yapeyú			
			Calizas Queguay			Formación Mercedes
			Formación Mercedes	Formación Mercedes	Formación Mercedes	
	Albiano? (1)	Formación Guichón	Formación Guichón	Formación Guichón	Formación Guichón	
Formación Arapey						

Tomado de: (1) Goso y Perea (2004), (2) Bellosi *et al.* (2004), (3) Ubilla (2004), (4) Bossi (1966), (5) Pazos *et al.* (1998), (6) Veroslavsky y Martínez (1996), (7) Tófaló y Pazos (2010), (8) Alonso-Zarza *et al.* (2011), YP: paleosuperficie Yapeyú.

terización del área de aporte, en particular de su marco tectónico y con el fin de minimizar el efecto de la granulometría, se empleó el método de Gazy-Dickinson,

que consiste en contar como fragmento monomineral a todo grano menor de 62 μm , aunque se encuentre formando parte de un fragmento lítico mayor. Se realizó un conteo de 300 a 350 granos por corte delgado. Se determinaron las modas detríticas de las muestras de cuatro localidades ubicadas en distintos afloramientos alejados entre sí: Meseta de Artigas (diez muestras), sector ubicado al sur de la localidad de Guichón (diez muestras), área cercana a Mercedes (diez muestras) y zona del arroyo Vera (catorce muestras), (Fig. 1). Los resultados se volcaron en el diagrama Qm:F:Lt (Dickinson *et al.* 1983).

La identificación de los minerales de arcilla se efectuó por difracción de rayos-X, en un difractómetro Phillips PW1130, utilizando radiación de Cu filtrada con Ni a una velocidad de $2^\circ/2\theta/\text{min}$ en un rango de sensibilidad de $2^\circ/10(3)$. Para obtener la fracción menor a dos micrones, se colocaron alícuotas de muestra obtenidas por cuarteo en suspensión en agua destilada con agregado de dispersante (CALGON) y de allí se obtuvo la fracción elegida por pipeteo. Se prepararon tres plaquetas de cada muestra, de las cuales se dejó una sin tratar, otra se sometió por 24 horas a una atmósfera de etilén glicol y la última se calcinó durante dos horas a 550°C . Una vez identificadas las especies presentes se procedió a realizar una semi-cuantificación midiendo las áreas de los picos y corrigiendo por factores.

RESULTADOS

Rocas epiclásticas

Las rocas epiclásticas de la Formación Mercedes son psefitas y psamitas, con escasas pelitas heterogéneamente distribuidas. La composición de las dos primeras permite determinar dos áreas de aporte. *Psefitas*: Son ortoconglomerados polimícticos gruesos a finos de color rosado grisáceo (5 R 8/2), con gradación normal, moderadamente seleccionados y con textura clasto y matriz sostén (Fig. 2a). La composición de los clastos es variada (Cuadro 2), en el sector norte (meseta de

Artigas y sur de Guichón), predominan las guijas y guijarros silíceos subangulosos a subredondeados correspondientes a amígdalas silíceas de basaltos, acompañados por clastos redondeados de areniscas y calcretes, intraclastos pelíticos y muy escasos fragmentos de basaltos muy alterados (Figs. 2b y 3). Los clastos de areniscas poseen características composicionales y granulométricas iguales a las psamitas de la Formación Guichón infrayacente. Hacia la zona central y sur (Mercedes y arroyo Vera, Figs. 2c y 3), predominan los fragmentos líticos subredondeados de composición granítica moderadamente alterados y de cuarzo policristalino cataclástico, acompañados por pelitas alteradas y escasos clastos de esquistos, gneises y chert (Fig. 2d). En los conglomerados finos abunda el cuarzo monocristalino y en la región cercana a la ciudad de Mercedes se han observado clastos de areniscas silicificadas.

La matriz de las psefitas es predominantemente psamítica, el tamaño de grano está comprendido entre gránulo y arena fina, con variable participación de material arcilloso. En el norte la fracción arena, subredondeada a redondeada, puede ser clasificada como litoarenita feldespática o sublitoarenita (Cuadro 2). Está compuesta mayoritariamente por granos equidimensionales de cuarzo monocristalino (70% a 75%), con escasos individuos que tienen extinción ondulante, fragmentos líticos (10% a 20%) entre los que se destacan el cuarzo policristalino y la calcedonia, acompañados por intraclastos arcillosos, clastos de calcretes, escasos feldespatos (7% a 12%) con predominio de ortosa alterada, ocasionalmente peritítica y microclino fresco sobre plagioclasas con leve alteración y como accesorios (2% a 3%) minerales opacos (magnetita, hematina e ilmenita), granate, piroxenos y epidoto (Fig. 2e). Son comunes las coberturas de grano de óxidos de hierro, particularmente sobre fragmentos líticos arcillosos y calcedonia. El material aglutinante está constituido por carbonato de calcio esparítico y microesparítico, con textura granular (Fig. 2e) y subordinadamente por

arcillas con textura microgranular, que generalmente se presentan teñidas por óxidos de hierro.

En el centro y sur la matriz arenosa de los conglomerados es subangulosa a subredondeada, tiene contactos tangenciales y puede ser clasificada como feldarenita lítica (Cuadro 2). Está compuesta principalmente por granos equidimensionales a prolados de cuarzo monocristalino (45% a 50%), con algunos individuos con extinción ondulante, acompañados por feldespatos (24% a 32%) mayormente potásicos, con amplio predominio de ortosa alterada, en ocasiones peritítica, sobre microclino fresco y escasas plagioclasas, fragmentos líticos (10% a 25%) correspondientes a cuarzo policristalino cataclástico, rocas graníticas y cataclásticas, y muy escasos chert y calcedonia (Fig. 2f). Como minerales accesorios se destacan los opacos (magnetita, hematina e ilmenita). Se observan coberturas isopáquicas de grano de arcillas y óxidos de hierro. Como cemento se observa: 1. calcita tamaño esparita y microesparita con textura en mosaico que ha roto la fábrica primaria, corroído los bordes de los granos, los ha reemplazado parcialmente y los ha desplazando, 2. óxido de hierro que forma parches intersticiales; 3. rellenos de material silíceo, principalmente calcedonia con textura fibrosa radiada (Fig. 2f) y 4. material arcilloso microgranular.

Psamitas: Las psamitas del sector norte (Fig. 4a) pueden ser clasificadas como litoarenitas feldespáticas o sublitoarenitas y en raras ocasiones algunas areniscas finas como subfeldarenitas (Cuadro 2). Son finas a gruesas (Fig. 4a), de color naranja rosado grisáceo (10R 8/2) a rosado grisáceo (5R 8/2), están moderadamente seleccionadas y ocasionalmente tienen microlaminación. La fábrica es en general clasto sostén, con 2 ó 3 contactos tangenciales por grano, salvo en aquellos casos en que el porcentaje de cemento carbonático es alto, en cuyo caso se hace flotante. Los clastos forman entre el 52% y el 75% de las rocas y están subredondeados, con excepción de los granos de cal-

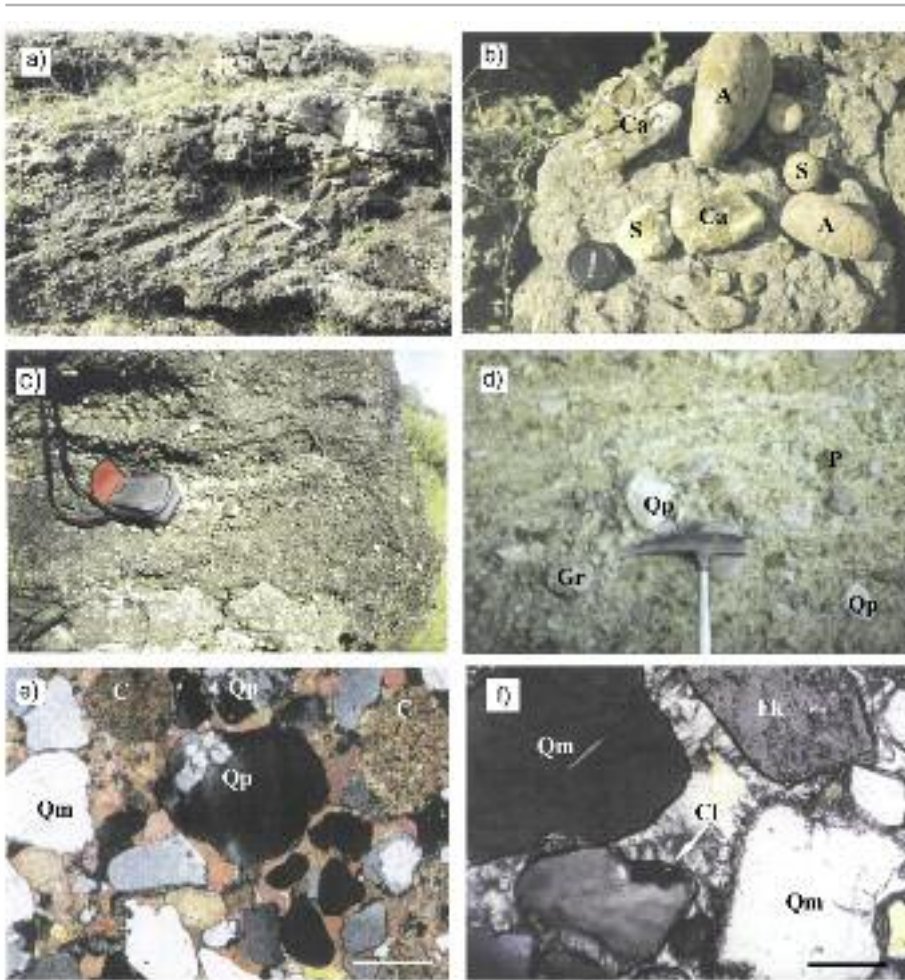


Figura 2: a) afloramiento de la Formación Mercedes en meseta de Artigas; b) clastos psefíticos más comunes en la zona norte (S: amígdalas silíceas de basaltos, A: areniscas procedentes de la Formación Guichón, Ca: calcretes); c) afloramiento en las proximidades de la localidad de Guichón; d) clastos psefíticos más comunes en las zonas central y sur (Gr: fragmentos líticos graníticos, Qp: cuarzo policristalino cataclástico, P: pelitas alteradas); e) corte delgado de la matriz arenosa de los conglomerados de la zona norte cementada por calcita con textura granular (Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, C: fragmento de calcrete). Barra escala: 500 μ ; f) corte delgado de la matriz arenosa de los conglomerados de la zona centro-sur cementada por calcedonia con textura fibrosa radiada y megacuarzo (Qm: cuarzo monocristalino, Fk: feldespato potásico, Cl: cemento de calcedonia). Escala: 500 μ m.

cedonia que son subangulosos y angulosos.

Composicionalmente predomina el cuarzo monocristalino (55% a 80%), equidimensional a prolado, comúnmente con extinción ondulante, seguido por los fragmentos líticos (7% a 28%), entre los que predominan netamente cuarzo policristalino cataclástico, calcedonia, cristobalita y chert (Fig. 4b), sobre líticos pelíticos, de areniscas, calcretes y vestigios de basaltos alterados y de rocas graníticas. Entre los feldespatos (8% a 13%) domina la orto-

sa, ocasionalmente peritítica y muy alterada a material arcilloso, sobre el microclino fresco y las plagioclasas levemente alteradas. Los minerales accesorios (2% a 3%) más habituales son opacos (magnetita, hematita e ilmenita), granate, piroxenos y epidoto.

El cemento está en porcentajes variables de 5% a 48% y es predominantemente calcítico, cuando es abundante destruye la fábrica primaria, desplazando y reemplazando parcial o totalmente a los granos, lo que origina fábrica flotante. El

carbonato es esparítico y microesparítico con textura granular y raramente poikilitica. Por aumento en el porcentaje de carbonato de calcio las rocas se transforman en verdaderas calizas, con variable porcentaje de partículas terrígenas. Son comunes las coberturas de grano de arcillas impregnadas por óxidos de hierro, mientras que los rellenos silíceos de macro y microporos no son abundantes.

En las zonas central y sur (Fig. 4c y e), las areniscas pueden ser clasificadas como feldarenitas, subfeldarenitas, feldarenitas líticas y raramente como litoarenitas feldespáticas (Cuadro 2). Son finas a gruesas, predominantemente de color rosado naranja grisáceo (5YR 7/2) y están moderadamente seleccionadas. Tanto la fábrica como el grado de consolidación son variables y dependientes del grado de cementación carbonática o silícea; cuando este es escaso la fábrica es clasto sosten, con 2 a 4 contactos tangenciales por grano y las areniscas son friables, en cambio cuando el porcentaje de cemento es elevado la fábrica es flotante y las rocas están bien consolidadas. Son pocas las muestras que tienen fábrica matriz sosten. Los clastos forman entre el 60% y el 70% de las rocas y son subangulosos a subredondeados. Composicionalmente predomina el cuarzo monocristalino (50% a 70%), equidimensional a prolado, comúnmente con extinción ondulante (Fig. 3d), seguido por los feldespatos (15% a 30%) entre los que domina la ortosa, ocasionalmente peritítica, más raramente con textura gráfica y muy alterada a material arcilloso, sobre el microclino fresco y las plagioclasas con alteración leve a moderada (Fig. 4d y f). El porcentaje de fragmentos líticos (6% a 25%) es menor que en la zona norte, aunque también predominan las variedades de sílice: cuarzo policristalino cataclástico, con poca participación de calcedonia, cristobalita y chert, pero aumenta el contenido de fragmentos de rocas graníticas, acompañadas por pelitas. Sólo se observaron en pocas muestras vestigios de areniscas y basaltos y no se detectaron calizas. Los minerales accesorios (1% a 3%) más ha-

bituales son opacos (magnetita, hematina e ilmenita), micas (biotita) y epidoto. En las muestras estudiadas la relación promedio de las modas detríticas Qm:F:Lt es 81:12:7 en la zona de meseta de Artigas, 71:22:7 al sur de Guichón, 70:29:1 en el sector de Mercedes y 71:27:2 en el sector de arroyo Vera. Los datos del conteo, aplicando el método de Gazzy-Dickinson, se resumen en el cuadro 3. Los resultados se plotearon en el diagrama ternario propuesto por Dickinson *et al.* (1983), para determinar el marco tectónico del área de procedencia (Fig. 5), donde se observa que los puntos se agrupan indicando procedencia de interior cratónico o zona continental transicional. El material aglutinante suele ser abundante (5% a 50%), dominando en general el cemento (5% a 50%) sobre la matriz (2% a 30%). Los cementos más importantes son calcita y distintas variedades de sílice; el óxido de hierro se encuentra, en general, subordinado. La calcita ha penetrado, desplazado y aún reemplazado parcial o totalmente a los clastos, tiene tamaño esparita y microesparita y textura en mosaico. Al aumentar el porcentaje de carbonato de calcio las rocas forman calcretes (Fig. 6a), con total obliteración de la fábrica primaria (Tófaló y Pazos 2010, Alonzo-Zarza *et al.* 2011). Los cementos silíceos aparecen como finos crecimientos secundarios de cuarzo (Fig. 6b), rellenan el espacio intergranular como chert con textura microgranular y raramente filiforme (Fig. 6b), calcedonia con textura fibrosa radiada (Fig. 6c) o cuarzo (Fig. 6b). Son comunes los rellenos complejos de macroporos, en los que se observa desde los bordes hacia la zona central: recubrimientos isopáquicos de lusatita, calcedonia con elongación negativa (calcedonita) y positiva (cuarzina) y ocasionalmente en el centro megacuarzo (Tófaló *et al.* 1999, Tófaló y Pazos 2010). El óxido de hierro se encuentra como patinas (Fig. 6b) y parches intersticiales, pequeños y aislados. Sobre la matriz han actuado procesos de recristalización (ortomatriz) y está constituida por arcillas: illita-esmectita y datos preliminares indican palygorskita y sepio-

CUADRO 2: Composición del material epiclástico en distintos sectores geográficos.

	Zona Norte	Zona Central y Sur
Psefitas (esqueleto)	Sílice (calcedonia, chert)	Rocas graníticas
	Areniscas	Cuarzo policristalino cataclástico
	Intraclastos	Esquistos
	Calcretes (escasos)	Gneisses
Psefitas (matriz)	Basaltos (raros)	Sílice (chert, calcedonia)
	Cuarzo monocristalino (70-75%) Fragmentos líticos: cuarzo policristalino, calcedonia, calcretes (10-20%) Feldespatos: ortosa, escasa plagioclasa y microclino (7-12%)	Cuarzo monocristalino (45-50%) Feldespatos: ortosa, escasa plagioclasa y microclino (24-32%) Fragmentos líticos: cuarzo policristalino, rocas graníticas y cataclásticas, chert, calcedonia (10-25%)
	Litoarenitas feldespáticas o sublitoarenitas	Feldarenitas líticas
	Cuarzo monocristalino (55-80%) Fragmentos líticos: cuarzo policristalino, calcedonia, chert, escasas pelitas, areniscas silicificadas, calcretes (7-28%) Feldespatos: ortosa, escasa plagioclasa y microclino (8-13%)	Cuarzo monocristalino (50-70%) Feldespatos: ortosa, escasa plagioclasa y microclino (15-30%) Fragmentos líticos: cuarzo policristalino, rocas graníticas, chert, calcedonia, intraclastos (6-25%)
Psamitas	Litoarenitas feldespáticas, sublitoarenitas y escasas subfeldarenitas	Feldarenitas, subfeldarenitas, feldarenitas líticas y muy escasas litoarenitas feldespáticas



Figura 3: Diagramas de composición de los clastos de grava en las distintas localidades de muestreo.

lita (trabajo en preparación), clastos de cuarzo, feldespatos y gránulos opacos. Rellena el espacio intergranular, aunque no es común la fábrica matriz sostén y forma pátinas y coberturas isopáquicas de granos, las que con frecuencia están

teñidas por óxidos de hierro. Son comunes la textura en peine producida por recristalización y la microgranular. Las pelitas son escasas aunque su participación es mayor hacia el tope de la formación, donde pueden formar bancos de

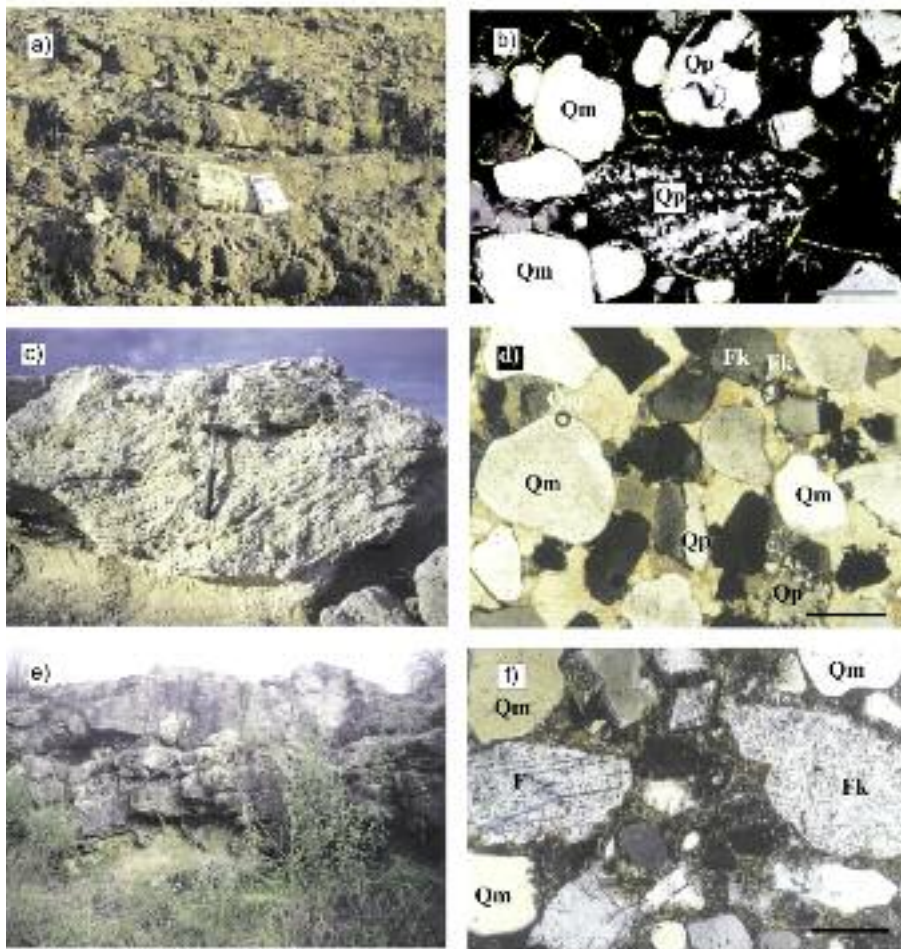


Figura 4: a) afloramiento de las areniscas con estratificación entrecruzada de la Formación Mercedes en meseta de Artigas; b) corte delgado de las areniscas de la zona norte constituidas principalmente por cuarzo (Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino); c) afloramiento de areniscas con estratificación entrecruzada en el sector central; d) corte delgado de las areniscas de la zona centro-sur cementada por calcita granular (Qm: cuarzo monocristalino, Fk: feldespato potásico); e) afloramiento de lentes de areniscas en la zona de Mercedes; f) corte delgado de areniscas de la zona centro-sur cementadas por micrita y arcillas (Qm: cuarzo monocristalino, Fk: feldespato potásico). Escala: 500 μm .

espesor cercano al metro. Tienen color rosado naranja moderado (10R 7/4) o verde amarillo grisáceo (5GY 7/2) y a veces están moteadas. El estudio de la fracción arcillosa mediante análisis térmico diferencial en muestras del sudoeste de Uruguay, indica una mezcla de esmectita y caolinita (Ferrando *et al.* 1989). Esto coincide con análisis por difracción de rayos X en muestras tomadas en los departamentos de Soriano y Canelones (Ford 1988), correspondientes a la denominada zona decolorada de la Formación Asencio, que sería equivalente al Miembro Yapeyú, considerado dentro de la Formación Mercedes (Pazos *et al.* 1998).

Procedencia de las rocas epiclásticas: La composición de los conglomerados indica distinta procedencia relativa para los sectores norte y centro-sur de la región estudiada. Los límites entre ambos sectores son transicionales. En el norte el principal aporte es de la Formación Arapey (Cretácico Temprano), de la cual proceden los clastos de sílice (calcedonia, chert, micro y megacuarzo, etc.), que constituyen las amígdalas de los basaltos, a los que se suman escasos fragmentos muy alterados de estas volcanitas; la Formación Guichón aporta clastos de areniscas y de calcretes; obviamente los intraclastos son de procedencia local. En el sector sur, en

cambio, el principal aporte procede del basamento ígneo-metamórfico precámbrico, del cual provienen los fragmentos de rocas graníticas y metamórficas (cuarzo policristalino cataclástico, esquistos, gneisses). El aporte desde la Formación Arapey es escaso y está restringido a fragmentos silíceos, principalmente chert y calcedonia.

La diferencia composicional, aunque menos marcada, también se observa en las psamitas y la matriz de la psefitas, las que son cuarzo líticas en la zona norte y cuarzo feldespáticas en la centro-sur (Cuadro 2). En ambos sectores predomina el cuarzo monocristalino, en algunos casos con extinción ondulante que proviene principalmente del basamento plutónico-metamórfico, el cual también aporta el cuarzo policristalino cataclástico y la mayoría de los feldespatos, entre los que predomina ampliamente la ortosa ocasionalmente pertítica o con textura gráfica. No se descarta que algunos clastos, particularmente los más resistentes, sean policíclicos, procediendo de la destrucción de areniscas más antiguas, como por ejemplo de las que integran la Formación Guichón, que son litoareniscas feldespáticas y sublitoareniscas. Sin embargo, en el sector norte predominan los litoclastos sobre los feldespatos y entre los primeros son abundantes los fragmentos silíceos procedentes de la Formación Arapey, mientras que en el centro-sur estos son muy escasos o están ausentes y en cambio aparecen fragmentos de rocas graníticas y dominan feldespatos, principalmente potásicos, sobre líticos.

El predominio de fragmentos silíceos procedentes de las amígdalas de basaltos, acompañados por escasos y muy alterados clastos de dichas volcanitas, en los conglomerados de la zona norte, indica que se depositaron bajo un clima cálido y húmedo, que habría provocado la concentración de especies estables. Los escasos clastos de calcretes, provendrían de la Formación Guichón, lo mismo que los fragmentos de areniscas y se habrían conservado debido a proximidad del área de aporte y rápido soterramiento. La com-

posición de la matriz arenosa de los conglomerados y la de las areniscas, con predominio de cuarzo, cuarzo policristalino y otras formas de sílice sobre feldespatos y otros minerales inestables, sustenta esta interpretación. En el sector central y sur, también hay predominio de especies estables, pero aumenta el porcentaje de metaestables con importante alteración, lo que sugiere proximidad del área de aporte. Los resultados obtenidos en la determinación del marco tectónico del área de aporte a partir del ploteo de las modas detríticas en el diagrama de Dickinson *et al.* (1983), muestran poca dispersión y procedencia cratónica, aunque exhiben cierto agrupamiento geográfico (Fig. 5 y Cuadro 3). En las localidades ubicadas más al norte, Meseta de Artigas y sur de Guichón, las arenas tienen, aún en tamaños inferiores a 62 μm , fragmentos líticos, mientras que en las localidades más australes, zona de Mercedes y de Arroyo Vera, los litoclastos menores de 62 μm están casi ausentes. A su vez, la localidad más septentrional tiene algo más elevado el porcentaje de cuarzo monocristalino. La fracción arcillosa, si bien no suele ser abundante forma rellenos intergranulares y particularmente en el sector superior de bancos areniscosos, coberturas isopáquicas de granos que se interpretan como resultado de fenómenos de iluviación, vinculados a actividad edáfica. Esta interpretación es avalada por la presencia de rizolitos.

Niveles edafizados y paleosuelos

En ocasiones las sedimentitas presentan rasgos de edafización, los que se concentran en la parte superior de las litofacies arenosas. Son principalmente coberturas de granos (argilo y ferroargilocutanes de grano), producidas por iluviación lo que determina fábrica chitónica (Fig. 6d) y rizolitos y en ocasiones niveles con fábrica estriada, granoestriada o moteada. La composición del material arcilloso es principalmente esmectítica.

En testigos de perforación obtenidos en el departamento Paysandú, con el propósito de cuantificar las reservas de las can-

CUADRO 3: Datos de conteo de las modas detríticas aplicando el método de Gazzy-Dickinson.

Meseta de Artigas			Sur de Guichón			Arroyo Vera			Mercedes		
Q (%)	F (%)	Lt (%)	Q (%)	F (%)	Lt (%)	Q (%)	F (%)	Lt (%)	Q (%)	F (%)	Lt (%)
83	13	4	72	20	8	83	15	2	69	31	0
86	9	5	70	23	7	64	36	0	79	20	1
86	11	3	69	25	6	74	24	2	51	48	1
73	13	14	68	27	5	75	22	3	69	30	1
80	8	12	88	10	2	61	38	1	71	28	1
83	12	5	60	27	13	73	26	1	67	33	0
80	13	7	68	26	6	68	30	2	65	32	3
83	12	5	69	24	7	74	25	1	80	20	0
81	11	8	73	23	4	68	27	5	75	25	0
82	10	8	71	19	10	72	25	3	70	29	1
						73	27	0	75	25	0
						65	35	1			
						71	29	0			

teras de ANCAP, se han observado varios niveles de paleosuelos bien desarrollados y parcialmente modificados por procesos de calcetización (Tofalo *et al.* 2001). Son de color gris rosado (5YR 8/1), la microestructura es en bloques subangulares finos y muy finos o dominada por mesocanales medianos a finos y algunas mesocámaras medianas a gruesas.

La relación entre el porcentaje de material que constituye el esqueleto y el plasma (concepto g/f), considerando el límite entre ambos 4μ (Stoops y Jongerius 1975), es: $(g/f) 4\mu\text{m}=5/95$, la fábrica de la matriz es moteada dispersa o en mosaico (Fig. 5e) y la fracción gruesa está formada por clastos tamaño limo a arena mediana, mayoritariamente de cuarzo, con abundantes individuos con extinción ondulante muy marcada, acompañados por escasa proporción de cuarzo policristalino cataclástico, plagioclasa y ortosa. Las características pedológicas más importantes son los revestimientos arcillosos de grano y de poro, en muchos casos formados por microláminas yuxtapuestas de arcilla y arcilla impura y los cristales, intercrecimientos de cristales e intercalaciones simples de óxidos de hierro. Son comunes los rellenos densos completos e incompletos de carbonato y sílice. Los minerales de arcilla más comunes son illita en la base de la Formación Mercedes y esmectita en las litologías más finas (Bossi *et al.* 1998), abundantes en la parte su-

perior de la misma. Medina *et al.* (1978) han indicado la presencia de palygorskita en la cantera Vichadero, en la zona de Paysandú.

Interpretación: La pedogénesis se hace más importante hacia el tope de la formación, donde se registran varios niveles de paleosuelos bien desarrollados, sus características y el bajo porcentaje de clastos tamaño arena, indican que se habrían formado en zonas de bajo gradiente y estarían asociados al colmatamiento de la cuenca y la estabilidad tectónica. La falta de evidencia de grandes sistemas de raíces, indicaría una vegetación herbácea (Tandon y Andrews 2001). La presencia de arcillas como revestimientos arcillosos de grano y de plano y en niveles con fábrica estriada o granoestriada, indica procesos de iluviación relacionados con acentuadas alternancias estacionales, es decir a una fase hidromorfa le sigue otra de desecación intensa y la neoformación de esmectita indica, además, la abundancia de cationes Ca y Mg. Este proceso habría ocurrido en suelos desarrollados bajo clima cálido subárido, según revela la presencia de palygorskita que es característica de los mismos, en los que se combinan procesos de hidrólisis y alcalinólisis (meteorización por aguas cargadas con Ca o Mg) (Duchaufour 1975).

Procesos diagenéticos y porosidad

Los procesos diagenéticos que han actua-

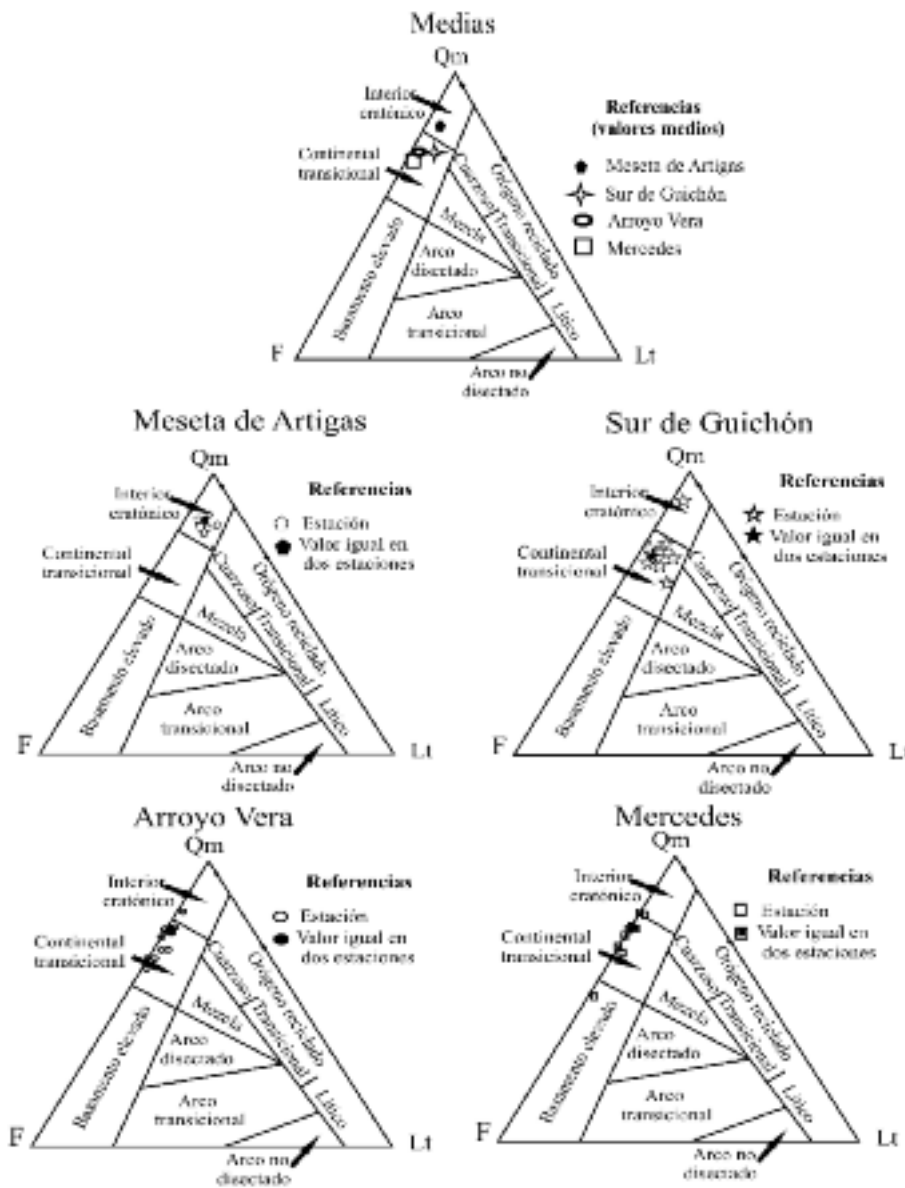


Figura 5: Diagramas de discriminación de áreas de aporte Qm:F:Lt de Dickinson *et al.* (1983).

do sobre las epiclastitas de la Formación Mercedes son importantes y han afectado a la porosidad de las rocas. En orden relativo de ocurrencia son: 1) iluviación de óxidos de hierro y/o material arcilloso, con formación de revestimientos de grano (Fig. 6b y d) y relleno de poros; 2) recristalización del material arcilloso (Fig. 6d); 3) precipitación de carbonato de calcio en espacios intergranulares, huecos producidos por bioturbación, formando concreciones y/o desplazando y reemplazando los granos silicoclásticos de la

roca hospedadora (Fig. 6a); 4) precipitación de distintas formas de sílice (Fig. 6b y c), que en ocasiones provoca la total ruptura de la fábrica epiclastica original o reemplaza al carbonato; 5) disolución de clastos, matriz y material cementante (Fig. 6f). Los primeros cuatro disminuyen la porosidad de las rocas, mientras que el último es el responsable de la generación de porosidad secundaria, reconocida por el empaquetamiento heterogéneo de los clastos, la presencia de granos flotantes y corroídos, generación de porosidad intra-

granular (Fig. 6f) y de poros sobredimensionados.

No todos estos procesos han actuado en toda la unidad, ni con la misma intensidad y la distribución de la porosidad es heterogénea. En algunos niveles los sedimentos son friables por la falta de cementos, mientras que en otros estos son tan abundantes que las rocas forman resaltes y cornisas resistentes a la erosión. Es por esto que los valores de porosidad son muy variables, desde 0% en rocas totalmente reemplazadas por carbonato o sílice, hasta 25%, en algunos niveles en los que se ha producido disolución. En estos últimos el sistema poral está dominado por meso y macroporos inter e intragranulares, con número de coordinación medio y amplias gargantas porales.

CONCLUSIONES

A partir de la composición de las rocas epiclasticas pueden definirse dos sectores, con límite transicional. En el sector norte la procedencia dominante, principalmente de las psefitas, es de la Formación Arapey (volcanitas del Cretácico Temprano), con menores aportes de la Formación Guichón (areniscas) y del basamento precámbrico (metamorfitas y plutonitas). Esto se invierte en la zona centro-sur, donde dominan los clastos de procedencia ígneo-metamórfica, está muy restringido el aporte desde la Formación Arapey y no se observan fragmentos derivados de la Formación Guichón.

Las psefitas se clasifican como ortoconglomerados polimícticos. las psamitas de la zona norte como litoarenitas feldespáticas, sublitoarenitas y escasas subfeldarenitas; las del sector centro-sur como feldarenitas, subfeldarenitas líticas y muy escasas litoarenitas feldespáticas.

El predominio de granos estables sobre metaestables e inestables, indica que las epiclastitas se depositaron bajo clima cálido y húmedo. El aumento de clastos metaestables alterados en la zona centro-sur, sugiere mayor proximidad al área fuente.

El marco tectónico del área de aporte es

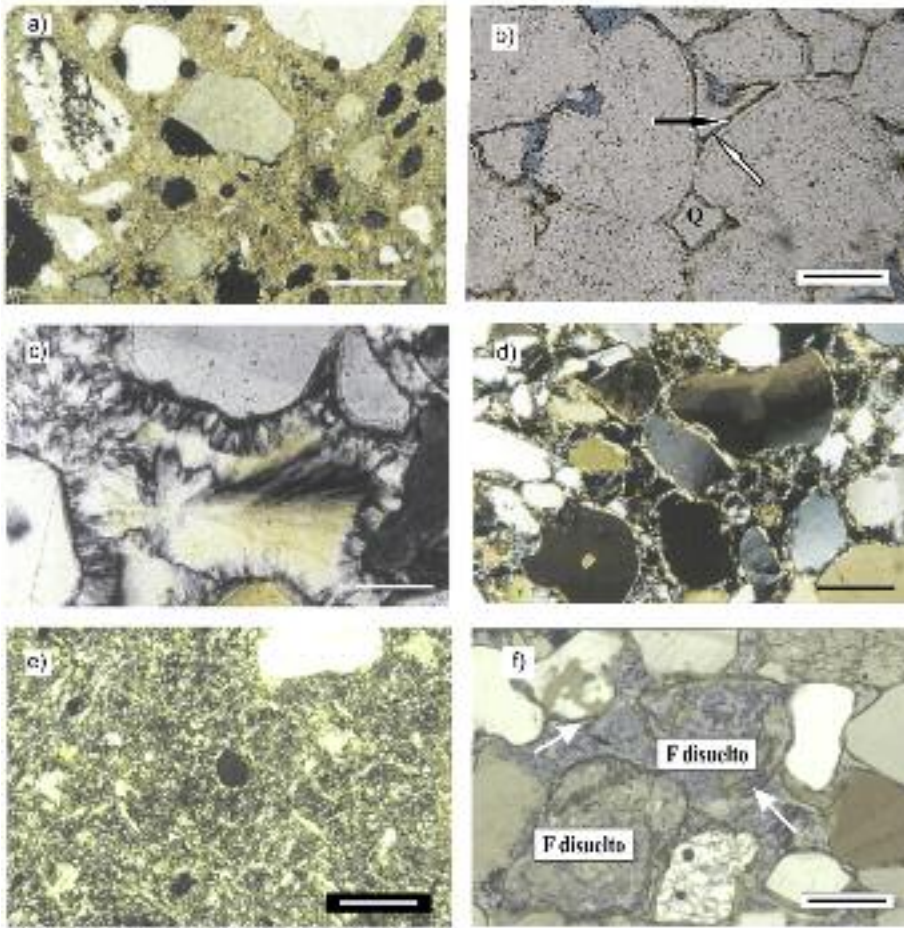


Figura 6: a) corte delgado de calcrete con típica fábrica alfa, consistente en una masa densa y continua de carbonato de calcio, en la que flotan los granos constituyentes del material hospedador, que han sido desplazados por la calcita; b) corte delgado de una arenisca cementada por finos crecimientos secundarios de cuarzo (flecha blanca), delgados recubrimientos de óxido de hierro y ópalo con textura filiforme (flecha negra) y cuarzo (Q) en el centro del poro; c) corte delgado de una arenisca con cemento silíceo principalmente de calcedonia con textura fibrosa radiada; d) corte delgado de arenisca edafizada con fábrica chitónica, obsérvese los recubrimientos de arcilla alrededor de los clastos de arena y limo; e) corte delgado de paleosuelo con fábrica moteada y en mosaico, formada por el entrecruzamiento de láminas de arcilla; f) corte delgado donde se observa abundante porosidad secundaria producida por disolución, principalmente de clastos de feldespato, con generación de porosidad intraparticular. Barra escala: 500 μm .

indudablemente cratónico, con leve variación entre interior cratónico y zona continental transicional.

Los procesos edáficos se localizan en el tope de algunos bancos arenosos y especialmente en la parte superior de la unidad. En este último caso estarían asociados al colmatamiento de la cuenca, a estabilidad tectónica e indican un cambio climático. Son suelos netamente arcillosos, con dominio de arcillas iluviales, cuya abundancia revela alternancia de estaciones húmedas y secas, pero bajo condi-

ciones generales de clima cálido subárido, indicado por la presencia de palygorskita. Importantes procesos diagenéticos han actuado sobre las rocas estudiadas afectando su porosidad: iluviación de material arcilloso y/o óxidos de hierro, recristalización y neoformación de material arcilloso, precipitación de carbonato de calcio y sílice y disolución de clastos, matriz y material cementante. No todos estos procesos han actuado en toda la unidad, ni con la misma intensidad y la distribución de la porosidad es errática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Buenos Aires, que posibilitó la realización del trabajo, que se llevó a cabo en el marco de los Proyectos UBACyT X236 y X219 y a las sugerencias realizadas por el Dr. M. Manassero y por un árbitro anónimo, que contribuyeron a mejorar la primera versión del trabajo. Esta es la contribución R-58 del Instituto de Estudios Andinos: IDEAN (UBA-CONICET).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alonso-Zarza, A.M., Genise, J.F. y Verde, M. 2011. Sedimentology, diagenesis and ichnology of Cretaceous and Palaeogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. *Sedimentary Geology* 236: 45-61
- Basu, A. 1985. Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas. En Zuffa, G.G. (ed.) *Provenance of Arenites*: 1-18. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Belosi, E. S., González, M.G. y Genise, J. 2004. Origen y desmantelamiento de lateritas paleógenas del sudoeste de Uruguay (Formación Asencio). *Revista del Museo de Ciencias Naturales* 6: 25-40.
- Blasi, A.M. y Manassero, M.J. 1989. The Colorado River of Argentina: source, climate and transport as controlling factors in plate tectonic sand composition. *Journal of South American Earth Sciences* 3: 65-70.
- Bossi, J. 1966. *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República 2, 464 p., Montevideo.
- Bossi, J. y Navarro, R. 1991. *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones Universidad de la República 2: 761-809, Montevideo.
- Bossi, J., Ferrando, L., Montaña, J., Campal, N., Morales, H., Gancio, F., Schipilov, A., Piñeyro, D. y Sprechmann, P. 1998. *Carta Geológica del Uruguay*, escala 1:500.000. Geoeditores SRL (CD-Rom), Montevideo.
- Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina T. y Babel, U. 1985. *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, 150 p., Maine.
- Buol, S., Hole, F. y McCracken, R. 1991. *Génesis y clasificación de suelos*. Editorial Trillas 417

- p., Ciudad de Méjico.
- Chebli, G.A, Tófaló, O.R. y Turazzini, G.E. 1989. Mesopotamia. En Chebli, G.A. y Spalletti, L.A. (eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica 6: 79-100, Tucumán.
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En Zuffa, G.G. (ed.) Provenance of Arenites: 333-361, Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. 1979. Plate tectonic and sandstone composition. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 63: 2164-2182.
- Dickinson, W., Beard, L., Brakenridge, G., Erjavec, J., Ferguson, R., Inman, K., Knepp, R., Lindberg, F y Ryberg, A. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to the tectonic settings. Geological Society of America Bulletin 94: 222-235.
- Duchaufour, P. 1975. Manual de Edafología. Toray-Masson, S.A., 476 p., Barcelona.
- Etchichury, M.C. y Tófaló, O.R. 2004. Mineralogía de arenas y limos en suelos, sedimentos fluviales y eólicos actuales del sector sur de la cuenca Chacoparanense. Regionalización y áreas de aporte. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59: 317-329.
- Ferrando, L., Eugui, W., Cabrera, Z. y Elias, R. 1989. Carta Geológica del Uruguay, escala: 1/100.000. Hoja P-23 Cañada Nieto. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo
- Folk, R.L.; Andrews, P.B. y Lewis, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 13: 937-968.
- Ford, I. 1988. Asociación caolinita-montmorillonita en perfiles tipo de la Formación Asencio (KS). 6º Panel de Geología del Litoral, 1era Reunión de Geología del Uruguay, Actas: 42-46, Corrientes.
- Gancio, F. y Ford, I. 1990a. Carta Geológica del Uruguay, escala: 1/100.000. Hoja O-15 Porvenir. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.
- Gancio, F. y Ford, I. 1990b. Carta Geológica del Uruguay, escala: 1/100.000. Hoja N-16 Algorita. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.
- Goso, C. y Perea, D. 2004. El Cretácico postbasáltico de la Cuenca Litoral del río Uruguay: Geología y Paleontología. En Veroslavsky, G., Ubilla, M. y Martínez S. (eds.) Cuencas sedimentarias de Uruguay, Universidad de la República: 143-171, Montevideo.
- Kemp, R.A., Zárate, M., Toms P., King M., Sana-bria, J. y Arguello, G. 2006. Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in Northern Pampa, Argentina. Quaternary Research 66: 119-132.
- Lambert, R. 1939. Memoria explicativa de la Carta Geológica de los terrenos sedimentarios y las rocas efusivas del departamento de Durazno. Boletín N°25 Instituto Geológico del Uruguay, 1-37, Montevideo.
- Lambert, R. 1940. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 27b: 1-41, Montevideo.
- McBride, E.F. 1985. Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. En Zuffa, G.G. (ed.) Provenance of Arenites, Reidel Publishing Company, 95-113. Dordrecht.
- Mack, G.H. 1984. Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition. Journal of Sedimentary Petrology 54: 212-220.
- Medina, N, Papaleo, C. y Martres, R. 1978. Palygorskita del yacimiento ANCAP de calizas del Queguay, Paysandú, Uruguay. Informe de investigación ANCAP-Centro de investigaciones tecnológicas. En Veroslavsky, G., Ubilla, M. y Martínez S. (eds.) Cuencas sedimentarias de Uruguay, Universidad de la República: 143-171, Montevideo.
- Morrás, H.J. 2003. Distribución y origen de sedimentos loessicos de la pampa norte en base a la mineralogía de sus arenas. Resultados preliminares. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología 10: 53-64.
- Pazos, P. J., Tófaló, O.R. y González, M. 1998. La Paleosuperficie Yapeyú: Significado estratigráfico y paleoambiental en la evolución del Cretácico Superior del Uruguay. 2 Congreso Uruguayo de Geología, Actas: 59-63, Punta del Este.
- Pazos, P. J. Sánchez-Bettucci, L. y Loureiro, J. 2008. The Neoproterozoic glacial record in the Río de La Plata Craton: a critical reappraisal. En Pankhurst, R. J., Trouw, R.A.J. de Brito Neves, B.B. y de Witt, M.J. (eds.) West Gondwana Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region. The Geological Society, Special Publications 294: 343-364, London.
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M. y Roquero de Laburu, C. 1994. Ediciones Mundi-Prensa, 807 p., Madrid.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Baldo, E.G., González-Casado, J.M., Galindo, C. y Dahlquist, J. 2007. The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana. Earth Science Reviews 83: 49-82.
- Ricci Lucchi, F. 1985. Influence of transport processes and basin geometry on sand composition. En Zuffa, G.G. (ed.) Provenance of Arenites, Reidel Publishing Company: 19-45, Dordrecht.
- Rock Color Chart Committee (1951). Geological Society of America, New York.
- Sánchez Bettucci, L. Peel, E. y Oyhançabal, P. 2010. Precambrian geotectonic units of the Río de La Plata craton. International Geology Review 52: 32-50.
- Scasso R.A. y Limarino, C.O. 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología. Publicación Especial 1, 259 p., Buenos Aires.
- Serra, N. 1945. Memoria explicativa del mapa geológico del departamento de Soriano. Instituto Geológico del Uruguay, Boletín 32: 1-42, Montevideo.
- Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science Society of America: 1-184, Madison.
- Stoops, G. y Jongerijs, A. 1975. Proposals for micromorphological classification of soils materials. I. A classification of the related distribution of coarse and fine particles. Geoderma 13: 189-200.
- Tandon, S. y Andrews, J. 2001. Lithofacies associations and stable isotopes of palustrine and calcrete carbonates: examples from Indian Maastrichtian regolith. Sedimentology 48: 339-355.
- Tófaló, O.R. y Pazos, P.J. 2010. Paleoclimatic implications (Late Cretaceous-Paleogene) from micromorphology of calcretes, palustrine limestones and silcretes, southern Paraná Basin. Journal of South American Earth Sciences 29: 665-675

- Tófalo, R y Sánchez Bettucci, L. 2010. Petrología de las sedimentitas silicoclasticas de la Formación Mercedes (Cretácico superior), Uruguay. 6° Congreso Uruguayo de Geología. Minas, Trabajo 139, Montevideo.
- Tófalo, O. R., Pazos, P. J. y Fazio, A. 1999. Silcretos pedogénicos y de aguas subterráneas en la Formación Mercedes (Cretácico Superior), Uruguay. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas: 74, Salta.
- Tófalo, O.R., Pazos, P.J., Sánchez Bettucci, L., de Santa Ana, H. y Alonso, S. 2001. Caracterización micromorfológica de calcretes, "Calizas del Queguay", Departamento Paysandú, Uruguay. 11° Congreso Latinoamericano y 3° Uruguayo de Geología, Trabajo completo en CD: 5-24, Minas.
- Tófalo, O.R., Pazos, P.J. y Fernández Garrasino, C. 2002. Petrografía y diagénesis de la Formación Mercedes (Cretácico), Uruguay. IX Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes: 123, Tucumán.
- Tófalo, O.R., Orgeira, M.J., Compagnucci, R., Alonso, M.S. y Ramos A. 2011. Characterization of a loess-paleosols section including a new record of the Last Interglacial in Pampean Plain, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 31(1): 81-92
- Ubilla, M. 2004. La Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío) y los mamíferos más antiguos de Uruguay. En Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez S. (eds.) Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales-Cenozoico. DIRAC-Facultad de Ciencias: 83-124, Montevideo.
- Veroslavsky, G. y Martinez, S. 1996. Registros no depositacionales del Paleoceno-Eoceno del Uruguay: nuevo enfoque para viejos problemas. *Serie Geociencias Revista Universidade Guarulhos* 1: 32-41.
- Zárate, M., 2003. Loess of southern South America *Quaternary Science Reviews* 22: 1987-2006.
- Zárate, M., Kemp, R. y Blasi, A. 2002. Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in the northern Pampas of Buenos Aires, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 303-313.
- Zárate, M., Kemp, R. y Toms, P. 2009. Late Quaternary landscape reconstruction and geochronology in the northern Pampas of Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 27: 88-99.
- Zuffa, G.G. 1985. Optical analices of arenitas: influence of methodology on compositional results. En Zuffa, G.G. (ed.) *Provenance of Arenites*: 165-189, Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Recibido: 10 de febrero, 2010.

Aceptado: 23 de junio, 2011.