

LA FORMACIÓN EL PALMAR, UNA UNIDAD FLUVIAL ASIGNABLE AL SUBESTADIO CÁLIDO EIO 5A (PLEISTOCENO TARDÍO) DE LA CUENCA DEL RÍO URUGUAY

DANIELA M. KRÖHLING

CONICET y Facultad de Ing. y Cs. Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, CC 217,
3000 Santa Fe, Argentina. E-mail: dkrohli@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del río Uruguay (365.000 km²) es uno de los grandes sistemas fluviales de Sudamérica, que conecta la región tropical del sur de Brasil con latitudes templadas de la Pampa. La Formación El Palmar es un depósito sedimentario generado por el río Uruguay, con importante desarrollo en la cuenca media (este de Entre Ríos y NO del Uruguay). Está compuesta por arena y gravas silíceas en matriz arena arcillosa, de color rojo a ocre amarillento, con espesores de 15 a 20 m. Los depósitos de canal están representados por estratos gravosos a arenosos, las facies de albardón e inundación corresponden a arenas limo-arcillosas. La mineralogía está dominada por sílice hidratada en los cantos rodados, cuarzo formando parte de arena y limo y caolinita entre los minerales arcillosos. Actualmente la unidad constituye la terraza alta del río, con una cota de 10 m por sobre el fondo de los valles afluentes. Dataciones por termoluminiscencia indican edades entre 80 y 88 ka A.P. para la parte superior de la formación. Ésta se correlaciona con geoformas erosivas y acumulativas marinas del tramo inferior del Uruguay y con un paleosuelo datado por OSL en la llanura Pampeana, representativo del subestadio cálido EIO 5a (Pleistoceno Tardío).

Palabras clave:

Sudamérica, Cuaternario, terraza fluvial.

THE EL PALMAR FORMATION, A FLUVIAL UNIT ASSIGNED TO THE WARM SUBESTADIAL OIS 5A (LATE PLEISTOCENE) OF THE URUGUAY RIVER BASIN

DANIELA M. KRÖHLING

CONICET y Facultad de Ing. y Cs. Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, CC 217,
3000 Santa Fe, Argentina. E-mail: dkrohli@gmail.com

ABSTRACT

The Uruguay River Basin (365,000 km²) is one of the largest river systems of South America, that connects the tropical region of southern Brazil with temperate latitudes of Pampa. El Palmar Formation is a sedimentary deposit generated by the Uruguay River, with the main development in the middle basin (eastern Entre Ríos province and NW Uruguay). It is composed of siliceous sand and gravel in a clayey-sandy matrix, red to yellowish brown in colour, with thicknesses from 15 to 20 m. The channel deposits are represented by gravel and sandy strata; levee and splay deposits correspond to silty-clayey sands. Their mineralogy is dominated by hydrated silica (pebbles), quartz in the sand and silt fractions and by kaolinite in the clay. At present, the unit is the upper fluvial terrace of the Uruguay, with a height of 10 m above the bottom of the valley tributaries. Thermoluminescence datings indicate ages between 80 and 88 ka A.P. for the upper part of the formation. This correlates with erosive and accumulative marine landforms of the lower Uruguay River and a paleosol dated by OSL in the Pampas plain, representing the warm substage OIS 5a (Late Pleistocene).

Key words :

South America, Quaternary, fluvial terrace.

INTRODUCCIÓN

El Uruguay es uno de los grandes ríos de América del Sur, con una cuenca de más de 365.000 km² desarrollada en el sur de Brasil, oeste de la República del Uruguay y noreste de Argentina (26°30' - 34°S y 49° - 58°30' O), siendo la segunda cuenca en importancia del sistema del Río de la Plata. Se trata de un territorio complejo que vincula una región tropical húmeda con áreas de clima templado en el Río de la Plata y el Atlántico Sur. Este sistema existe desde el Plioceno y ha sufrido durante el Cuaternario (el último período de la historia de la Tierra, comprendiendo los últimos 2,6 millones de años) una sucesión de procesos sedimentarios y erosivos que produjeron cambios en el paisaje, incluyendo modificaciones importantes en la superficie de la cuenca debido a capturas fluviales (Iriondo & Kröhling, 2008).

La cuenca está formada por tres áreas claramente definidas desde el punto de vista geológico: la meseta basáltica en la alta cuenca, un área intermedia de geología compleja donde predomina el Cuaternario continental, y la cuenca inferior en la que la influencia del Atlántico Sur ha sido recurrente (Fig. 1).

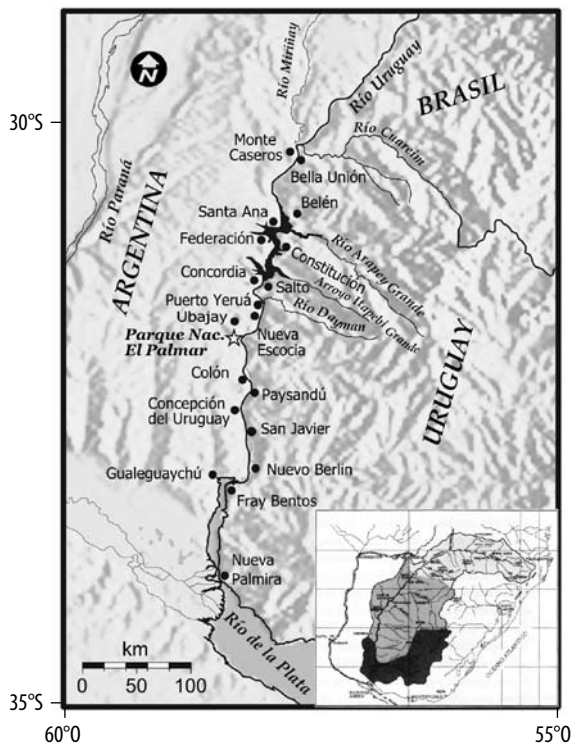


Figura 1. Mapa de ubicación de la región de estudio y ubicación de localidades y arroyos citados en el texto. En el mapa adjunto se diferencian las tres partes en que se divide la cuenca del río Uruguay (alta, media y baja).

El clima de la cuenca presenta un gradiente de precipitaciones y temperaturas nortesur. La circulación atmosférica de la alta cuenca está dominada por el anticiclón del Atlántico Sur, un sistema semipermanente de altas presiones que transporta masas de aire tropical húmedo provenientes del este y noreste durante todo el año. Las perturbaciones de ese patrón están relacionadas con frentes polares. El área de estudio de este trabajo se ubica en la cuenca media, bajo clima subtropical húmedo. Las precipitaciones decrecen de NE a SO, desde 1.500 a 1.100 mm/año y las temperaturas medias anuales se hallan entre 19 y 21°C.

En esta contribución se describe y analiza una de las unidades geológicas más representativas de la región: la Formación El Palmar (Iriondo, 1980). Esta constituye la terraza alta del río Uruguay a lo largo de ca. 1.000 km, desde Chapecó en Brasil (27°S) hasta Concepción del Uruguay en la frontera Argentina-Uruguay (32°30'S). La terraza es discontinua en la alta cuenca, pero alcanza buen desarrollo y continuidad en la cuenca media del río Uruguay.

De acuerdo con Iriondo y Kröhling (2008), la historia geológica cuaternaria en la cuenca superior y media del río Uruguay comienza sobre paisajes desarrollados en rocas cretácicas. El Pleistoceno está representado por unidades estratigráficas de variado origen litológico luego de un hiatus que abarca casi todo el Cuaternario Medio.

Los análisis estratigráficos, sedimentológicos y geomorfológicos realizados en campaña, laboratorio y gabinete condujeron a la identificación de una importante faja de acumulación fluvial vinculada al río Uruguay, representada por una llanura aluvial abandonada, compuesta por depósitos de canal de alta energía y sedimentos asociados de inundación. El cauce actual del Uruguay en la cuenca media mantiene el diseño de meandros encajados flanqueados por la terraza inferior. La terraza alta aparece en forma bastante continua a lo largo del río. Pueden observarse grandes lóbulos meándricos en ambas márgenes de la faja actual; éstos miden varios kilómetros de longitud de onda y de 1 a 4 km de ancho. En los tramos en que el río actual los corta o el rumbo coincide con el antiguo, sus sedimentos aparecen en forma de terraza.

Las rocas clásticas mesozoicas son la fuente directa o indirecta de la mayor parte de los sedimentos de la unidad litoestratigráfica objeto de este estudio. Dichos materiales, a su vez, habrían sido reciclados de rocas proterozoicas a lo largo de (probablemente) varios ciclos de erosión. El color general rojo a amarillo del sedimento que compone la terraza alta del río Uruguay indica movilización generalizada de sesquióxidos de hierro hasta una latitud que actualmente se encuentra por lo menos 300 km al sur del clima tropical. Restos vegetales silicificados de árboles tropicales son con frecuencia hallados en el depósito sobre ambas márgenes del río Uruguay.

Las primeras referencias a los depósitos investigados corresponden a Rimoldi (1963), quien los denomina Fm Salto Chico, sin presentar una correcta denominación formal. Gentili & Rimoldi (1979) retoman dicha denominación para caracterizar los afloramientos

tos en el este de las provincias de Corrientes y Entre Ríos, asignándoles una edad pliocena pero sin describir formalmente dicha unidad. Posteriormente Iriondo (1980) define la Fm El Palmar en el este de la provincia de Entre Ríos, conforme a las normas del Comité Argentino de Nomenclatura Estratigráfica. En algunos trabajos recientes se siguen asignando las denominaciones informales de Gentili & Rimoldi (1979; "Salto Chico" y "Ubajay") a los depósitos aflorantes en perfiles del este de Entre Ríos (e.g. Aceñolaza, 2007). Tales denominaciones consideran no sólo los depósitos pertenecientes a la Fm El Palmar sino también materiales correspondientes a una unidad litoestratigráfica diferente (Fm San Salvador, Iriondo & Kröhling, 2008; de edad Plioceno-Pleistoceno Temprano), ubicada a decenas de kilómetros de distancia de la Fm El Palmar. Los referidos nombres informales dificultan la interpretación del registro geológico en la región. En tal sentido, uno de los objetivos principales de esta contribución es aportar al estudio de los afloramientos de unidades fluviales cuaternarias en la barranca del río Uruguay en la cuenca media y en excavaciones cercanas.

En referencia al análisis temporal del registro sedimentario cuaternario, se utiliza mundialmente una subdivisión basada en los Estadios Isotópicos Marinos del Oxígeno. Los registros isotópicos del oxígeno obtenidos a partir del análisis de la caparazón de foraminíferos en perforaciones oceánicas documentan la cantidad de agua de mar retirada de los océanos y almacenada en forma de hielo en los continentes. El registro isotópico del oxígeno está dominado por el efecto de cambios en la composición isotópica del océano global, en consecuencia los estadios isotópicos marinos fueron usados para elaborar una columna estratigráfica global para sedimentos marinos y útil para la estratigrafía cuaternaria en general. Por ello se considera que importante información sobre el pasado del clima mundial proviene de sedimentos de aguas profundas. El tiempo geológico que comprende el Cuaternario se divide en episodios caracterizados por un volumen de hielo relativamente alto o relativamente bajo a nivel global, con la más baja acumulación de hielo durante los estadios interglaciares. El último episodio que registra un bajo volumen de hielo similar al actual es el estadio isotópico marino (MIS o EIO) 5e, que designa el último interglacial (Kukla, 2000). Este subestadio (Eemiano) se inició hace unos 130.000 años (130 ka.), alcanzó un máximo hace 125 ka. y terminó hace 116 ka. (Imbrie *et al.*, 1987). El EIO5 (entre ca. 80 y 130 ka A.P.) se divide en 5 subestadios, siendo los subestadios EIO 5a, EIO 5c y EIO 5e los de clima cálido a nivel global. La investigación del último periodo interglacial reviste importancia dado que el entendimiento de sus causas, su duración y condiciones paleoclimáticas pueden proporcionar pistas a los climas del futuro (Broecker, 1998). Las dataciones absolutas presentadas aquí y las obtenidas por otros autores en la región indican edades comprendidas en el Estadio Isotópico Marino del Oxígeno EIO 5, y constituyen un avance en la cronoestratigrafía de la región noreste de Argentina (Mesopotamia), aportando a la investigación paleoclimática de Sudamérica.

El objetivo principal del presente trabajo es presentar una caracterización estratigráfica de los afloramientos de la Fm El Palmar en la cuenca media del río Uruguay. La fuerte coloración férrica y las características sedimentológicas de esta formación geológica indican que fue depositada en ambiente tropical húmedo. Está compuesta por arenas de relleno de cauce que incluyen grandes lentes de gravas y cantos rodados; además de los depósitos de canal el sistema incluye depósitos arenosos de inundación y de albardón, configurando un complejo fluvial de llanura. En consecuencia, su investigación aporta información de particular interés en el estudio de los cambios ambientales relativamente recientes en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Fm El Palmar forma una faja de 4 a 15 km de ancho a lo largo de la margen derecha del río Uruguay, aflorando en el este de las provincias de Corrientes y Entre Ríos, hasta la latitud de Concepción del Uruguay (Fig. 1). Constituye en dicha región la terraza alta del río Uruguay. El conocido Parque Nacional El Palmar, Entre Ríos (Fig. 1) se desarrolla sobre el área tipo de esta unidad cuaternaria.

La secuencia metodológica se basó en la aplicación de los principios y técnicas clásicos de la Geología Regional, Geomorfología, Estratigrafía y Sedimentología, consistente en la ejecución de tareas de gabinete, de campo y de laboratorio. El relevamiento morfológico de la terraza alta del río Uruguay fue practicado sobre ambos márgenes del cauce. Los trabajos de campo se centraron en el este de Entre Ríos y se extendieron sobre la margen izquierda del río, en el oeste del estado de Rio Grande do Sul (Brasil) y oeste de Uruguay. El levantamiento estratigráfico, la caracterización sedimentológica y los muestreos de los perfiles aflorantes se practicaron en las barrancas del río Uruguay y en perfiles de préstamos y cortes de caminos cercanos al cauce actual.

Los análisis sedimentológicos de laboratorio permitieron caracterizar texturalmente la unidad. La mineralogía cualitativa de las fracciones granulométricas gruesas fue practicada bajo lupa binocular. Las fracciones arena muy fina y fina fueron analizadas bajo microscopio de polarización siguiendo la técnica de grano suelto, mientras que la mineralogía de la fracción arcilla fue obtenida por difracción de rayos X. Las dataciones absolutas fueron practicadas mediante el método de termoluminiscencia (TL) en el Department of Geography of the Peking University (Beijing, China) sobre la fracción granulométrica entre 2 y 8 μm (arcilla a limo fino) –códigos de laboratorio de las muestras: ST 168 y ST 169.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LA FORMACIÓN EL PALMAR EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

La Fm El Palmar en su área tipo está formada por arenas cuarzosas amarillentas a rojizas con un espesor aflorante que varía entre 3 y 12 m; contiene estratos lenticulares de cantos rodados y gravas de composición principalmente silíceas (en su mayor parte representados por calcedonia, ópalo y cuarzo; en forma subordinada aparecen clastos de areniscas y de basalto), de decenas de metros de largo. Las lentes formadas por cantos rodados, resultando más resistentes a la erosión, forman los sectores remanentes de la terraza en áreas muy disectadas, recibiendo el nombre local de "cerros". En muchos lugares, el sedimento contiene proporciones significativas de fracciones finas (limo-arcilla) y cemento ferruginoso que le otorga un color general ocre-rojizo a la unidad. La formación está poco consolidada y con variable grado de cementación, con claras diferencias entre el estado húmedo y seco debido a particulares características de los sesquióxidos de hierro. La unidad apoya en discordancia erosiva sobre basalto cretácico (Fm Serra Geral) o areniscas cretácicas (Fm Puerto Yerúa). Está cubierta localmente por sedimentos eólicos del Holoceno Tardío.

En Entre Ríos, la unidad representa una antigua llanura aluvial del río Uruguay en la que se distingue el paleocauce principal meandriforme, con 5 a 6 km de radio de curvatura y con ancho similar al cauce actual. De acuerdo al mapeo realizado mediante interpretación de imágenes satelitales, se deduce un río claramente más divagante que el presente. Actualmente este depósito constituye la terraza alta del río Uruguay, la cual se encuentra muy disectada, bien definida a lo largo del curso inferior de los afluentes (Fig. 2) en el este de la provincia. El límite occidental de dicha faja fluvial es la Unidad Geomorfológica Superficie Feliciano-Federal (Iriondo, 1980), compuesta por depósitos fluviales y palustres pliocenos a pleistocenos. Al sur de Concepción del Uruguay (32°29'58"S y 58°13'50"O) el paleorelieve labrado en la Fm Fray Bentos (Terciario) limitó la sedimentación de la Fm El Palmar.

Iriondo (1980) definió el perfil tipo de esta unidad en el Parque Nacional El Palmar (Fig. 1), a partir de varias perforaciones localizadas a 1 km al sur del arroyo del mismo nombre. Dichas perforaciones permitieron caracterizar un sistema de llanura aluvial. La formación conforma allí la terraza alta del arroyo El Palmar. Este perfil se describe, de arriba hacia abajo:

0,00 - 0,60 m. Cantos rodados finos a medianos, formados por calcedonia y ópalo, con redondeamiento bueno y muy bueno, con escasa matriz arcillosa negra.

0,60 - 7,50 m. Cantos rodados finos a medianos de calcedonia y ópalo, con escasos rodados de cuarzo blanco y líticos, con redondeamiento bueno a muy bueno. La matriz está constituida por arena cuarzosa mediana y gruesa. Existen escasas intercalaciones de arena cuarzosa media a gruesa de 20 cm de espesor.

7,50 - 8,00 m. Arena cuarzosa media de color marrón amarillento.

8,00 m. Fin de la perforación.

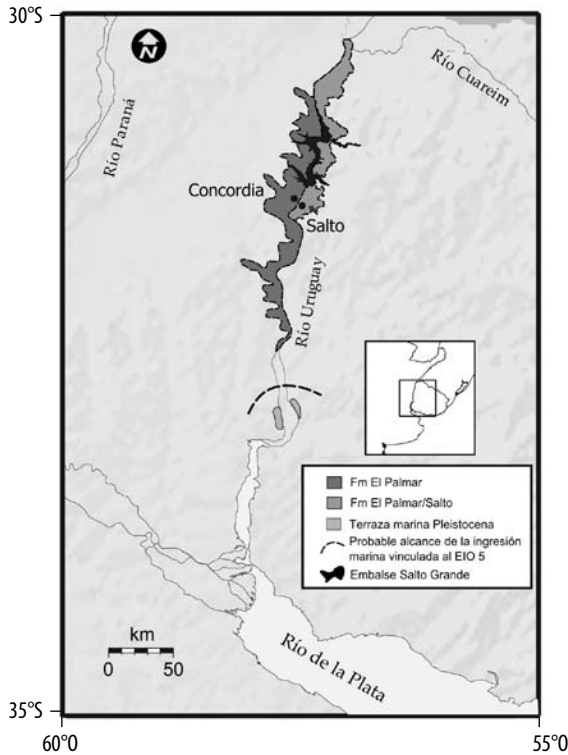


Figura 2. Mapa de la terraza alta del río Uruguay en Argentina, representada por la Fm El Palmar (EIO 5a) y de la terraza fluvial en el NO de Uruguay, indicativa de la Fm Salto-El Palmar. Se incluye el mapeo de la terraza marina pleistocena y la indicación del probable alcance de la ingresión marina vinculada con su origen (EIO 5).

Afloramientos de canteras a cielo abierto ubicadas en el Parque Nacional (Fig. 1; Fig. 3), indican una composición para la parte superior aflorante de la Fm El Palmar representada por arena media cuarzosa de color ocre rojizo con denso moteado oliva grisáceo. En uno de los perfiles aparece un depósito masivo (sin estructuras sedimentarias visibles) de 1,90 m de espesor sin ver base con un grado de compactación mediano. Lateralmente pasa a un depósito pobremente seleccionado y dominado por gravas (clasto soporte), correspondiente a un relleno de cauce de alta energía y de elevada turbulencia. El afloramiento tiene 15 m de longitud visible. Los clastos gruesos son cantos rodados pequeños a grandes, constituidos por ágatas, ópalo y otras formas de sílice. Se destaca el alto grado de redondeamiento de estos componentes. En otro perfil cercano, el depósito de canal está formado mayoritariamente por cantos rodados de menor tamaño y mejor seleccionados, presentando estratificación horizontal continua difusa en estratos medianos (de 0,20 a 0,30 m de espesor).

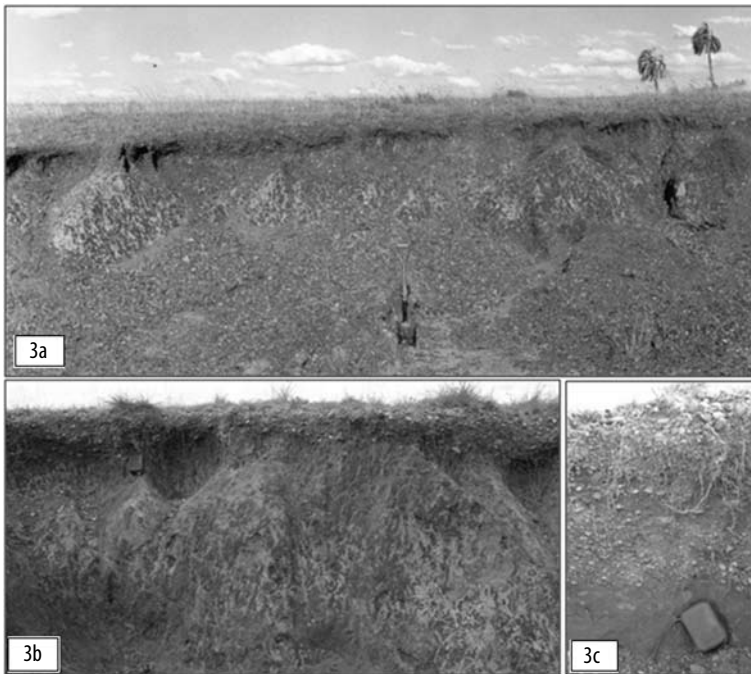


Figura 3a. Parte superior de la Fm El Palmar aflorante en canteras del Parque Nacional El Palmar (Entre Ríos). El sector inferior del talud está parcialmente cubierto por derrubios. **Figura 3b.** Detalle de la parte superior de la Fm El Palmar, coronada por el depósito residual moderno en afloramientos del Parque Nacional El Palmar. **Figura 3c.** La Fm El Palmar aflorante en la barranca del arroyo El Palmar, junto al parque del mismo nombre, caracterizada por depósitos de canal (estratos gravosos y arenosos).

En el ingreso del río Uruguay a la cuenca media, donde abandona la meseta basáltica y cambia su perfil longitudinal y la geología del entorno, esta formación es fundamentalmente psefitica. En general, está compuesta por un sedimento gravoso mal seleccionado y con abundante contenido de arena, masivo. El color es ocre-rojizo en el sector inferior de los perfiles aflorantes (1 a 1,50 m) y marrón amarillento en la parte superior de los mismos (de casi 2 m de potencia). La matriz fina está diferencialmente cementada por sesquióxidos de hierro. Los clastos tienen muy poca esfericidad y alta redondez. La parte superior de los afloramientos, de hasta 0,40 m de espesor, está formada por fragmentos de costra ferruginosa, incipientemente cementados por sesquióxidos de hierro.

Los depósitos de canal del área próxima a Santa Ana, junto al embalse de Salto Grande (Fig. 1) están generalmente representados por estratos horizontales finos formados por un sedimento con baja selección, cuya unidad clástica mayor está representada por cantos rodados (finos y algunos medianos, bien redondeados), silíceos, inmersos en

arena cuarzosa media de color amarillo, que lateralmente pasa a arena cuarzosa media a gruesa con estratificación planar y con estratificación cruzada de bajo ángulo en algunos sectores. Los clastos de mayor tamaño (gravas y cantos rodados finos) se disponen en líneas horizontales discontinuas. Se trata de estructuras de fondo plano de alto régimen. De acuerdo al diagrama de Hjulström (1935), se deducen velocidades de 2 a 3 m/s en el momento de la sedimentación. Se intercalan algunas lentes de poco espesor, algunas formadas por arena bien seleccionada y localmente cementada por sílice, de color general marrón rojizo.

Una perforación realizada en Federación (Fig. 1; 31°01'30"S y 58°03'06"O) atravesó un perfil de 24 m de espesor de la Fm El Palmar, suprayacente al basalto cretácico. El perfil, de abajo hacia arriba, es el siguiente: 9 m de gravas, 2 m de arenisca, 7 m de arena conteniendo gravas dispersas y 7 m de gravas; 1 m de sedimentos recientes cubre la formación. Perfiles de perforaciones próximos a Concordia indican espesores de la unidad entre 10 y 17 m.

En el sector inferior de la cuenca media del Uruguay, la Fm El Palmar aflora con predominio de arena en numerosos lugares. Presenta estratos lenticulares de hasta cientos de metros de largo y escasos metros de espesor, formados por cantos rodados y gravas pobremente seleccionados, con estratificación planar grosera e intercalaciones de arena media a gruesa. Se trata de depósitos de alta energía inmersos en un depósito continuo de arena gruesa y media de color amarillo a rojizo, con estratificación planar. Los clastos están compuestos por calcedonia y cuarzo, con escasas proporciones de arenisca y basalto. El tamaño de los rodados intercalados disminuye paulatinamente de norte a sur: desde grueso a fino, aumentando correlativamente la redondez. La matriz es persistentemente arcillosa en la parte superior de la formación (de 0,5 a 1,50 m de potencia) y arenosa en los aglomerados del resto.

En el área de Concordia (Fig. 1; 31°21'S y 58°00'O), los afloramientos de la Fm El Palmar están representados por un depósito masivo de 1 m de espesor, formado por arena fina a media con importante cantidad de finos, en general friable. El color es marrón rojizo, presentando variaciones al oliva grisáceo. Se intercalan guijas finas (de 0,5 a 1,5 cm de diámetro), con redondez moderada (con presencia de clastos angulosos). En la base aflora el depósito de canal con características típicas, organizado en estratos finos a medianos y compuesto por gravas finas a medianas (los clastos tiene redondez alta; en general son de composición silíceo, con escasos rodados de basalto). El depósito es matriz soportado (arena fina cuarzosa conteniendo arcilla plástica de color rojo, con variaciones al ocre y amarillo). Se destacan la presencia de moldes de raicillas tapizados por una película negra.

En perfiles aflorantes naturales y artificiales cercanos a Concordia y de mayor potencia (2 m), los depósitos de canal de la unidad en análisis están dominados por arena

cuarzosa fina a media, masiva o con laminación difusa. Contienen regular cantidad de arena gruesa con redondez alta a media, algunas guijas finas a gruesas de basalto alterado y escasos cantos rodados de calcedonia (frecuentemente partidos y presentando fracturas de impacto). El color general del depósito es ocre-amarillento, producto de la introducción de óxidos férricos; aparecen motas difusas de 1 a 3 cm de diámetro de color ocre rojizo y negro. El sedimento presenta algo de compactación en seco, siendo plástico en húmedo. Este depósito incluye estratos lenticulares finos y de contactos pocos definidos, compuestos por gravas medianas a gruesas y cantos rodados finos.

Un perfil aflorante localizado en el parque municipal San Carlos de Concordia (1,20 m de potencia) está formado por un depósito de canal clasto soportado (gravas a cantos rodados finos), de color marrón. La petrología de los clastos está dominada por calcedonia y cuarzo, en forma subordinada por arenisca sílicea y basalto.

En Puerto Yerúa (Fig. 1; 31°31'41"S y 58°01'O), la Fm El Palmar aflora en los 2,20 m superiores de la barranca próxima al río Uruguay, sobreyaciendo en discordancia a las areniscas de la Fm Puerto Yerúa. La unidad en análisis está compuesta por un depósito gravoso bien seleccionado (guijas de composición sílicea y con alta redondez) y prácticamente suelto, con abundante matriz arenosa.

El depósito de canal de alta energía de la Fm El Palmar está especialmente bien representado en una cantera junto al acceso a la localidad de Nueva Escocia (Fig. 1; 31°39'04"S y 58°01'17"O). Aflora allí con 5 m de espesor, compuesto por clastos síliceos de tamaño guija a cantos rodados finos a medianos (relativamente baja cantidad de guijarros), bien redondeados, con matriz arenosa de color marrón rojizo. El depósito está en general organizado en estratos tabulares finos (de 0,20 a 0,30 m de espesor y de 10 a 15 m de extensión lateral), localmente conteniendo estratos lenticulares de espesores centimétricos, en general formadas por arena bien seleccionada con cementación sílicea diferencial y de color general marrón rojizo. Otras lentes presentan segregaciones de CaCO_3 . Un material residual de algunos centímetros de espesor culmina la secuencia.

Desde Ubajay (Fig.1; 31°47'49"S y 58°18'03"O) hacia el sur, la Fm El Palmar contiene frecuentes bancos de arenisca sílicea de algunos decímetros a varios centímetros de espesor y varios metros cuadrados de superficie, que fueron originados por precipitación de sílice en cuerpos de arena limpia de la unidad.

LA FORMACIÓN EL PALMAR EN BRASIL

La margen izquierda del río Uruguay corresponde a territorios de Brasil y Uruguay (Fig. 1). Esta formación también forma la terraza alta sobre esa margen del río y sus afluentes, aflorando en varios sectores del SO del Estado de Santa Catarina (SC) y en el NO del Estado de Rio Grande do Sul (RS).

La Fm El Palmar está bien desarrollada en el área de São Borja (RS), con una facies similar a la descrita en la margen argentina. Está compuesta por arenas, gravas y cantos rodados (estos últimos tienen hasta 10 cm de diámetro y ocupan entre el 10 y el 20 % del volumen total del sedimento). El redondeamiento de los clastos es variable (desde anguloso a bien redondeado); la litología está representada por basalto y minerales silíceos. Los clastos están dispersos erráticamente en una matriz formada por arena muy fina o limo marrón rojizo. La formación yace sobre basalto alterado.

En el río Itú, importante afluente del río Ibicuy en Brasil (RS), la Fm El Palmar constituye una terraza compuesta por un depósito aluvial de cauce con arenas finas bien seleccionadas de color marrón rojizo. Incluye cantos rodados, gravas y bloques pequeños que forman entre el 10 y el 20% del cuerpo sedimentario. El sedimento es friable; con moteados de color ocre amarillento a ocre rojizo. Los clastos están irregularmente distribuidos, formados por partes iguales de clastos de basalto (de hasta 25 cm de diámetro) y de sílice (cantos rodados de diámetros menores a 10 cm). Estos muestran desgaste por transporte y fracturas de impacto. El depósito tiene entre 4,5 y 5 m de espesor y unos cientos de metros de extensión.

LA FORMACIÓN EN URUGUAY

La terraza alta del río Uruguay aparece en forma discontinua en el NO de la República del Uruguay, en los departamentos Salto y Artigas (Fig. 2). El depósito que la compone se conoce con el nombre de Fm Salto a partir de Lambert (1940), luego retomado por Goso (1965).

De acuerdo con Bossi (1969), la Fm Salto está constituida por arena de tamaño de grano variable y de color rojo, que oscila del pardo al ocre, pobremente cementada por arcilla y óxidos de hierro, con un grado de hidratación variable. Niveles lenticulares interestratificados están compuestos por arcillas verdes y conglomerados. Secundariamente los bancos pardos castaños de poco espesor han sido silicificados. Entre los cantos rodados de los niveles conglomerádicos, Bossi (1969) señala que es posible definir fragmentos de ágata y madera silicificada. La potencia de la Fm Salto no supera los 20 m. Bossi *et al.* (1975) mapearon la Fm Salto en Uruguay desde el río Cuareim hasta el río Dayman, en una faja discontinua a lo largo del río Uruguay de hasta 20 km de ancho (Figs. 1 y 2). Hay referencias de afloramientos menores de la unidad más hacia el sur.

Las observaciones de Iriondo & Kröhling (2008) registran la existencia de la Fm El Palmar/Salto formando una faja de cientos de metros a varios kilómetros de ancho en la margen izquierda del Uruguay, que se extiende desde la frontera Uruguay - Brasil hasta el río Dayman (Figs. 1 y 2). Evidentemente, el principal control geológico de la divagación del río hacia el este ha sido el borde de la meseta basáltica. Los datos de campo

indican que este gran colector fluvial no ha realizado importantes avances erosivos en el basalto cretácico durante el Cuaternario.

En el NO de Uruguay, los depósitos presentes de la unidad están formados por arena arcillosa plástica, de color rojo con moteados oliva, indicando un ambiente de llanura de inundación, cubiertos por un sedimento gravoso (dominan los guijarros de 2 a 3 cm; algunos cantos rodados alcanzan 15 cm de diámetro y tienen alta redondez y moderada esfericidad) y de petrología basáltica (con una menor población de clastos silíceos). Este es interpretado como un relleno de canal de alta energía.

La Fm El Palmar/Salto aparece con sus características típicas en el área situada entre Belén y el río Arapey Grande (Fig. 1). Un perfil aflorante se describe a continuación, de abajo hacia arriba:

0,00 - 1,50 m. Arcilla plástica oliva, con variaciones al rojo, interpretada como facies palustre.

1,50 - 2,50 m. Nivel caracterizado por abundantes bloques de arenisca de grano fino silíceo, laminada (de hasta 2 m de longitud y casi 1 m de espesor); la arenisca engloba guijas silíceas subangulares a subredondeadas. Los bloques se hallan incluidos en masas de arena fina a media, con variable cantidad de arcilla. Dichos cuerpos son verdaderas rocas, generadas por la cementación epigenética de volúmenes aislados de arena dentro de la formación. Representa un ambiente de relleno de canal de alta energía.

2,50 - 5,00 m. Arena roja de consolidación intermedia, conteniendo clastos dispersos de tamaño guija a guijarro, de alta redondez y escasa esfericidad, en general de composición silíceo. Presenta cambios de color netos a sectores esféricos de color oliva a gris; la decoloración aparece rodeando a los clastos mayores del sedimento. El depósito presenta laminación planar. Localmente se intercalan niveles de hasta 4 cm de espesor con alta concentración de gravas, algunas de arenisca y basalto. El sedimento incluye abundantes troncos fósiles, de varios centímetros de diámetro; en general sólo se ha preservado la corteza de los mismos (reemplazada por óxidos de hierro y de sílice). En otros sectores aparecen fragmentos rodados de corteza fosilizada, lo que indica una fosilización muy temprana. Escasos bloques de arenisca se hallan también incluidos en este depósito, interpretado como una facies de llanura aluvial.

5,00 - 6,00 m. Guijas y guijarros en matriz arenosa, correspondiente a un relleno de canal.

6,00 - 6,40 m. Guijas y guijarros de escasa esfericidad y alta redondez en matriz arenosa escasa. Corresponde a un material residual reciente.

Próximo a Constitución (Fig. 1; 31°04'09"S y 57°49'39"O) existen buenos afloramientos de esta unidad en perfiles laterales de caminos secundarios (Fig. 4), desde abajo hacia arriba:

0,00 - 2,50 m. Talud cubierto por derrubios, cubriendo en partes basalto alterado.

2,50 - 3,70 m. Estratos tabulares finos a medianos (5 a 30 cm) formados por guijas, gravas y cantos rodados, con matriz arenosa. Los clastos yacen con el eje mayor horizontal. Se intercalan estratos donde predominan las guijas en abundante matriz arenosa con otros estratos formados por gravas. La petrología de los clastos es de basalto, arenisca silíceas y geodas. Uno de los estratos contiene intraclastos de arcilla verde, indicando alta energía localizada y de pulso corto. En algunos niveles se concentran precipitados de óxidos férricos. Fragmentos rodados de troncos fosilizados aparecen en el interior de dichos estratos (principalmente corteza). Los colores dominantes son el rojo y el negro, producto de la epigénesis del hierro. Se interpreta un ambiente de canal.

3,70 - 4,80 m. Arena roja, conteniendo escasas guijas silíceas dispersas. Se observa un bloque de arenisca silíceas de 1,20 m de largo por 30 cm de espesor. Discordancia en el techo de la Fm El Palmar. Representa un ambiente de llanura aluvial.

4,80 - 5,60 m. Depósito residual moderno.

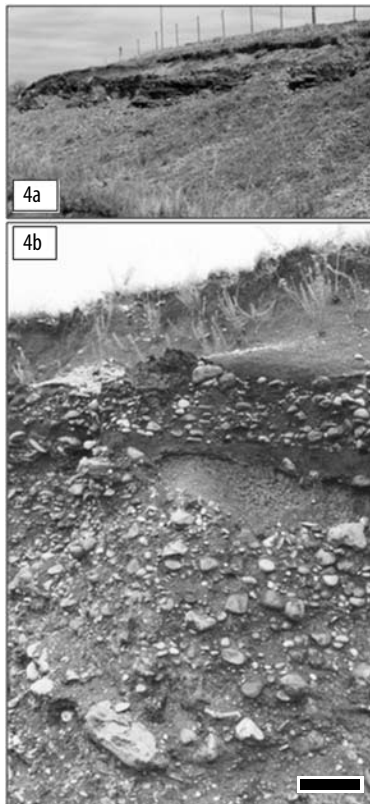


Figura 4a. La Fm El Palmar/Salto aflorante en el acceso a Constitución (Uruguay).

Figura 4b. Detalle de la facies de cauce de 4a (la escala gráfica equivale a 15 cm).

La Fm El Palmar/Salto domina ampliamente en el paisaje en el área de Salto (Fig. 1; 31°25'31"S y 58°00'30"O), entre el arroyo Itapebí Grande y el río Dayman. Un perfil representativo es el siguiente, de abajo hacia arriba:

0,00 - 2,00 m (sin ver base). Arena roja (en húmedo: 10R 4/6) moderadamente seleccionada, con predominio de arena media y escasas arena gruesa y muy fina; el depósito contiene proporciones variables de arcilla. Hay guijas dispersas en la matriz (de 1 cm), subangulares a redondeadas, de composición silícea, que forman lentes mal definidas. El depósito es friable, presenta pequeñas variaciones difusas en el color (rojo - amarillo) y decoloraciones verticales alargadas (oliva - marrón). La concentración de guijas aumenta hacia arriba (predominando las de 1 cm). A 0,50 m por debajo de la superficie del terreno, hay una lente de gravas silíceas matriz sostenida. El depósito representa una facies de llanura aluvial.

2,00 - 2,30 m. Estrato residual moderno.

En las afueras de Salto y junto al río Uruguay, la Fm El Palmar / Salto cubre en discordancia a la Fm Fray Bentos (Oligoceno). Los depósitos de canal de la unidad también afloran cerca del borde externo de la terraza. A 13 km al este de Salto, éstos están representados por clastos matriz soportados, guijarros de 3 a 4 cm, subangulares a subredondeados, en general de composición silícea y algunos de arenisca y líticos; la matriz es arena arcillosa plástica de colores moteados, entre el gris y el rojo. La unidad está cubierta por un sedimento eólico limoso del Holoceno Tardío. Hacia el sur de Salto, existen sólo afloramientos reducidos y dispersos sobre las sedimentitas cretácicas. En San Javier (Fig. 1; 32°40'S y 58°08'14"O), la Fm El Palmar/ Salto está cubierta por un depósito palustre comparable a lo que ocurre en la zona de Federación (Entre Ríos).

Un análisis de la evolución sedimentológica y geocronológica de la "secuencia deposicional Salto" (que incluye las Fm Salto y Bellaco del oeste de Uruguay) fue realizada por Veroslavsky & Ubilla (2007). Según los autores, la denominada secuencia es preservada en forma discontinua siguiendo una estructura neotectónica E-O y está caracterizada por depósitos fluviales con un patrón entrelazado, de baja sinuosidad y presentando canales de alta movilidad, con sedimentos lacustres asociados y posibles depósitos eólicos.

Según la información de superficie y subsuelo, Veroslavsky & Ubilla (2007) refieren que la Fm Salto tiene más de 35 m de espesor y está compuesta por cuerpos lenticulares y tabulares de arenisca de grano medio a muy grueso, intercalados con areniscas conglomerádicas y areniscas de grano fino y pelitas. Estos descansan en discordancia sobre unidades cretácicas y palaeógenas tardías y están cubiertos por depósitos pleistocenos. Siguiendo a los autores, el análisis de facies del sistema deposicional entrelazado indica un predominio de arena como carga de fondo (facies S 80%; con estratificación cruzada, horizontal o areniscas masivas) con pelitas subordinadas (facies P 10%; masivas y lamina-

das) y escasos conglomerados (facies G 10%; clasto soportados, masivos, indicadores de flujos tractivos de alta energía). La facies S está compuesta principalmente por areniscas de grano medio a grueso, con una proporción significativa de areniscas de grano muy grueso y de areniscas de grano fino. La facies P comprende pelitas masivas y laminadas. La facies G está compuesta por guijas y gránulos. Los depósitos de este sistema fluvial presentan un arreglo en ciclos decrecientes hacia arriba y están separados por superficies de 5to. orden (en el sentido de Miall, 1988). Los ciclos tienen 0.5-4 m de potencia y decenas de metros de extensión lateral, paralelos y perpendiculares al paleoflujo y pueden ser clasificados como lateralmente extensivos a depósitos mantiformes, sugiriendo la presencia de canales amplios y de poca profundidad. La proporción de las diferentes clases texturales en cada ciclo cambia lateralmente, con un incremento en areniscas de grano grueso y conglomerados hacia el margen oriental (Veroslavsky & Ubilla, 2007). Una generalización que cometen los autores al describir litológicamente la unidad es considerar a todos los depósitos como litificados, lo cual no es correcto, ya que la mayor parte de los depósitos de esta formación corresponden a sedimentos cuaternarios.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA FM EL PALMAR

Un afloramiento de la Fm El Palmar en el área de Federación (Fig. 1), representado por arena muy fina cuarzosa de color ocre-amarillento, con cemento ferruginoso, masiva o con laminación difusa, contiene hasta 20% de placas micáceas traslúcidas de 0,2 a 4 mm de diámetro. Análisis mineralógicos (por microscopía óptica, electrónica y microsonda) y geoquímicos permitieron identificar dicho mineral como caolinita (Iriondo & Kröhling, 2003). Debido al tamaño extremadamente grande de la caolinita presente en comparación con los granos de arena (hasta 10:1) y la lejanía de las fuentes potenciales de minerales micáceos detríticos, se deduce un origen autógeno para dicho mineral.

El resultado del recuento mineralógico de la fracción modal de arenas mediante la técnica de grano suelto en dicho yacimiento es el siguiente: 19% de caolinita en placas; 74,4 % de cuarzo monocristalino en granos bien redondeados; 3,2% de cuarzo policristalino; 2,7% de feldespatos y 0,7 % de alteritas. Gentili & Rimoldi (1979) también citan el predominio de cuarzo con escasa proporción de feldespatos, mica, magnetita y otros minerales máficos para los estratos arenosos asignables por ellos a la Fm Salto Chico.

Los difractogramas de rayos X del sedimento en su área tipo (Fig. 5) confirman esta composición (predominio de cuarzo con importante proporción de caolinita, con feldespatos subordinados y escasas esmectitas). Tanto la fracción limo como la fracción arcilla están formadas por esmectitas y caolinita con reducida proporción de cuarzo y feldespatos. Los difractogramas sobre muestra total indican el predominio casi exclusivo de cuarzo. La fracción limo está integrada por cuarzo y escasa caolinita pobremente

cristalizada. Esta última aparece mejor definida en la fracción arcilla, también con cuarzo como componente dominante.

De acuerdo con Veroslavsky & Montaña (2004), las “areniscas” de la Fm Salto de Uruguay están compuestas por granos de cuarzo monocristalino y policristalino, feldespatos, ópalo, y clastos líticos basálticos e ígneo-metamórficos. El cemento más común es sílice (cuarzo, calcedonia y ópalo) con calcita subordinada. Las areniscas ferruginosas son también frecuentes. Estratos discontinuos de arenisca en el tope de la Fm Salto están con frecuencia fuertemente silicificados, con cemento eogenético; estos habrían sido formados bajo condiciones relacionadas a aguas subterráneas alcalinas asociadas al basamento basáltico regional (Scasso & Limarino, 1997).

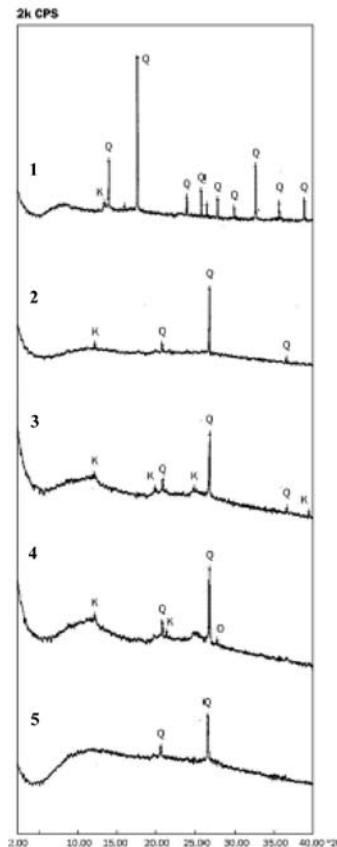


Figura 5. Difractogramas de rayos X de la Fm El Palmar en su área tipo (radiación CuK α) –tomada de Iriondo y Kröhling, 2008–.

1: DRX sobre muestra total, 2: DRX de la fracción limo (4–64 μm), 3: DRX de la fracción arcilla sin tratar (<4 μm , sobre muestra orientada), 4: DRX de la fracción arcilla tratada con etilenglicol y 5: DRX de la fracción arcilla calcinada a 550°C

(Q: cuarzo; K: caolinita; O: ortoclasa).

ORIGEN DE LOS SEDIMENTOS

Los materiales que componen la Fm El Palmar derivan de areniscas cuarzosas y basaltos mesozoicos de la alta cuenca del Uruguay. Los materiales finos han sufrido muy probablemente un transporte policíclico. La alta selección granulométrica y la madurez mineralógica que presentan algunos depósitos arenosos de la unidad indican una primera selección eólica de la arena antes de ser transportada por acción fluvial. Las areniscas cuarzosas eólicas finas a muy finas de la Fm Botucatú (Triásico Superior - Jurásico Superior) constituyen una de las fuentes principales de los sedimentos finos de la Fm El Palmar. La alta cantidad de calcedonia presente en las facies gruesas de esta unidad, fue originada mediante un proceso complejo: numerosas coladas basálticas del Cretácico tienen estructura alveolar, posteriormente ocurrió un episodio de segregación importante de sílice que precipitó en los alvéolos formando geodas de sílice hidratada. La alteración y erosión posteriores del basalto liberaron las geodas que quedaron formando cantos rodados bien redondeados desde su origen (Iriondo & Kröhling, 2008).

De acuerdo con Veroslavsky & Ubilla (2007), las "areniscas" de la Fm Salto incluyen granos basálticos e ígneo-metamórficos producidos por erosión de la Fm Arapey (basaltos mesozoicos) y el basamento precámbrico, los que constituyen la fuente de rocas en el área de proveniencia hacia el NE, confirmando la dirección de las paleocorrientes de la unidad.

EXPRESIÓN GEOMORFOLÓGICA

La acción de la neotectónica es clara en la región de estudio particularmente relacionada con la generación de la terraza alta del río Uruguay y su posterior evolución, ya que es notable la diferenciación altimétrica del tope plano horizontal de la terraza en diferentes lugares del área de estudio. La terraza alta del Uruguay en el área de Concordia (Fig. 1; 31°20'54"S y 58°02'07"O) tiene un ancho irregular, con valores típicos de 4 a 6 km. Constituye las áreas de interfluvio de los tramos inferiores de los afluentes importantes, entre cotas de 35 y 55 m.s.n.m. En el área del Parque Nacional El Palmar-Colón (Fig. 1; 31°50'30"S y 58°12'O - 32°13'S y 58°09'O), la terraza alta está bien desarrollada, alcanzando hasta 15 km de ancho. Sin embargo, no es continua en toda la extensión. En general, la superficie de la terraza ha sido transformada en un sistema de colinas convexas alargadas, separando valles de afluentes locales. Dicha terraza se conecta con el nivel de terraza inferior, en general continuo y con anchos típicos entre 300 m y 500 m en Concordia. En esta área (y hasta 30 km al sur), las colinas labradas en la terraza alta y el borde externo de la terraza baja están cubiertas por una capa discontinua de arena eólica disipada, con escasa expresión morfológica (campos de dunas disipados). Esto se repite sobre la margen izquierda en cercanías de la ciudad de Salto (Fig. 1). El paleocauce principal que ha generado esta unidad litológica puede ser reconstruido a partir de

la interpretación de imágenes satelitales, resultando un patrón sinuoso, con meandros de 5 a 6 km radio de curvatura.

La terraza alta se extiende sobre la margen uruguaya del río inmediatamente al sur de Bella Unión (Fig.1; 30°15'56"S y 57°36'30"O). Ésta tiene 5 km de ancho cerca del arroyo Itacumbú y aumenta hacia el sur hasta alcanzar 23 km de ancho en Colonia Palma (Fig. 1; 30°35'S y 57°42'O). El río Uruguay ha erosionado la meseta basáltica en el NO de Uruguay, formando un contacto geológico de trazos curvos entre ambas superficies (techo de la Fm El Palmar/Salto y Meseta de Masoller). Prácticamente no quedan áreas extensas de la superficie original de la terraza alta, ya que la acción erosiva de los afluentes la ha transformado en un paisaje de colinas. En el área de la localidad de Belén (Fig. 1; 30°47'30"S y 57°46'09"O), el tope de las colinas alcanza cotas de 65 m.s.n.m., unos 25 m por encima de las alturas características de la terraza alta sobre la margen derecha del río (Santa Ana). En detalle, el paisaje del área entre Belén y Constitución (Fig. 1; 31°04'09"S y 57°49'39"O) es un nivel general disectado formando colinas largas y convexas, de 5 a 10 m de altura relativa respecto del fondo de los valles. El área tipo de la terraza alta sobre la margen uruguaya está ubicada en la zona de Salto (Fig. 2). Al igual que en otras áreas, se ha labrado un paisaje de colinas convexas y largas, quedando escasos remanentes de la superficie original de la terraza (bancos resistentes de cantos rodados y bloques de arenisca silíceas) a cota 60 m.s.n.m.

CONTENIDO PALEONTOLÓGICO

El primer registro paleontológico de mamíferos de la Fm El Palmar corresponde a *Stegomastodon platensis* (Tonni, 1987), hallado en el área de la localidad tipo. Dicho fósil es característico de la Unidad Mamífero Lujanense, que corresponde al Pleistoceno Tardío de Sudamérica. Ferrero *et al.* (2007) identificaron ocho nuevos taxones en el área de Concordia: *Megatherium americanum*, *Myiodon darwini*, *Macrauchenia patachonica*, *Toxodon cf. platensis*, *Tapirus cf. terrestris*, *Equus (Amerhippus) cf. Neogeus*, *Morenelaphus cf. Lujanensis*, *Antifer sp.*, *Stegomastodon platensis*. Dichos autores postulan una Edad Mamífero Lujanense (Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano) para el elenco faunístico mencionado de la Fm El Palmar. Desde un punto de vista paleobiogeográfico, los autores refieren que la asociación no difiere mayormente del típico elenco Bonaerense-Lujanense de la región Pampeana, no obstante, destacan la ausencia de camélidos en la Fm El Palmar y otras formaciones fosilíferas halladas en la cuenca del río Uruguay. Recientemente, Brandoni *et al.* (2010) reportan el hallazgo de un esqueleto casi completo con una mandíbula asociada de *Myiodon darwini* en la Fm El Palmar. Esta formación contiene una abundante flora fósil (en localidades como Concordia o Colón), representada principalmente por troncos de árboles silicificados, algunos de ellos de gran

tamaño. Zucol *et al.* (2005) estudiaron la secuencia fosilífera aflorante en un perfil del Parque Nacional El Palmar. Este se halla compuesto por arena media, de color rojizo a amarillento. Se intercalan lentes de decenas de metros de longitud y de hasta 2 m de altura, formadas por gravas y bloques. Lateralmente estos pasan a estratos medios a gruesos (de varias decenas de centímetros) de arenisca con estratificación planar, rica en restos de maderas fósiles que exhiben una permineralización celular silíceo. Estas fueron colectadas en 2 niveles fosilíferos: FL 1, localizado a 2,21 m a partir de su base y caracterizado por moldes de troncos en posición de vida (con diámetros de 30-50 cm y alturas de 13-14 m), preservados como moldes de *aff. Palmoxylon sp.* Los resultados muestran grandes similitudes entre las asociaciones de palmeras fósiles del Cuaternario Tardío y aquellas obtenidas de las comunidades modernas análogas, especialmente en su diámetro y estatura. El segundo nivel fosilífero, FL 2, localizado a 3,25 m sobre la base del perfil, está formado por troncos de angiospermas de grandes dimensiones, permineralizados por ópalo y calcedonia. Estos fueron asignados por Zucol *et al.* (2005) a las familias Mirtaceae (*Eugenia sp.*), Anacardiaceae (*Schinopsisylon sp.*), Fabaceae-Mimosoideae y Arecaceae (*Palmoxylon sp.*). Los géneros más abundantes son *Menendoxylon* (56%), *Schinopsisylon* (22%), *Eugenia* (11%) y *Palmoxylon* (11%).

Siguiendo a Zucol *et al.* (2005), el análisis fitolítico reveló una zonación a lo largo del perfil de la Fm El Palmar, con dos asociaciones fitolíticas distintivas, basadas en la presencia y abundancia relativa de sus morfotipos. Los fitolitos arbóreos estuvieron representados primariamente por palmeras (en ambas asociaciones) y escasas angiospermas. La presencia de fitolitos de Podostemaceae, aunque escasos, es importante debido a que ellos pertenecen a una subfamilia cuyas especies endémicas son típicamente encontradas en la provincia Paranaense (alto río Paraná, río Iguazú, y alta cuenca del río Uruguay). La escasa proporción de estos fitolitos sugiere su origen alóctono. La presencia de esponjas también indica un carácter aluvial asociado a llanuras de inundación.

Sobre la base de la meteorización diferencial de los fitolitos, Zucol *et al.* (2005) distinguen dos sets predominantes de material deposicional: uno de origen local más restringido, relacionado a una paleocomunidad terrestre (Asociación 1), y otro vinculado a un área de contribución extendida que exhibe una mezcla de paleocomunidades acuáticas y terrestres (Asociación 2). La Asociación 1 fue originada a partir de una formación vegetal local representada por una paleocomunidad de sabana caracterizada por palmeras dominantes y herbáceas megatérmicas. La Asociación 2, en cambio, exhibe materiales de fuente heterogénea, el cual indica una marcada influencia de depósitos y procesos fluviales. Esta incluye representantes acuáticos tales como Podostemaceae y esponjas, así como elementos continentales como palmeras, herbáceas y angiospermas.

En las areniscas de la Fm Salto de Uruguay, Aznarez (1945) y Mones (1979) refieren el hallazgo de madera silicificada de árboles de pequeño a mediano porte, pertenecien-

tes a *Leguminosae* y *Caesalpinoideae*, cuya interpretación tafonómica sugiere enterramiento parautóctono. De acuerdo con Veroslavsky & Ubilla (2007), restos hallados en afloramientos cercanos a Salto están relativamente completos, no en posición de vida pero horizontales, y sin presentar superficies erodadas, con escaso retrabajo. En el área de acceso a Belén, dichos autores encontraron en la parte superior de la unidad numerosos troncos de palmeras de hasta 70 cm de diámetro, reemplazados por minerales de hierro y sílice, algunos de ellos en posición de vida. Gentili & Rimoldi (1979) también citan la existencia de troncos enteros fosilizados en los depósitos aflorantes sobre la margen brasilera del río Uruguay en la región.

INTERPRETACIÓN AMBIENTAL

Los indicadores sedimentológicos y geomorfológicos sugieren claramente un clima húmedo y cálido durante la depositación de gran parte de la Fm El Palmar. El mineral dominante es el cuarzo, con menos de 3 % de feldespato y menos de 1 % de alteritas en las fracciones arena y limo, sin registro de otros minerales meteorizables. En la fracción gruesa predomina también la sílice en forma casi excluyente, en forma de cuarzo y calcedonia, con muy escasos clastos de basalto. La presencia de caolinita autógena es coherente con un ambiente húmedo y pH ácido en la epigénesis. La composición granulométrica dominante es arena en los depósitos de llanura aluvial y de cantos rodados en los canales, indicando alta energía de transporte, típica de ríos caudalosos.

Los bordes externos de los depósitos pertenecientes a la Fm El Palmar marcan el contacto lateral con unidades más antiguas, formando un patrón sinuoso con curvas suaves de longitudes entre 2 y 5 km, similares y mayores que las del cauce actual, que drena una cuenca con clima húmedo en toda su extensión. Los colores rojo y amarillo, característicos de estos sedimentos, constituyen otro indicador ambiental, pues son típicos de ambiente tropical con temperaturas medias anuales por encima de 20°C y precipitaciones mayores a los 1000 mm/año (Maignien, 1976).

La flora fósil hallada en la Fm El Palmar guarda sus mayores similitudes con los géneros actuales de los bosques subtropicales y tropicales, lo que resulta un indicador complementario de clima cálido, junto con la movilización de sesquióxidos de hierro en la formación.

Por otra parte, los resultados paleobotánicos también indican condiciones climáticas templado-cálidas y húmedo-subhúmedas. Las asociaciones paleoecológicas halladas demuestran la existencia de paleocomunidades de selva subtropical mixta y palmares (característicos de la flora subtropical-tropical; Brea & Zucol, 2007).

EDAD

La Fm El Palmar fue datada por TL en 80.670 ± 13.420 años A.P., (parte alta del perfil aflorante en Federación). Una segunda datación por TL fue realizada en una muestra de la parte superior del perfil en Salto, resultando en una edad de 88.370 ± 35.680 (Iriondo & Kröhling, 2008). Estos resultados indican edades comprendidas en el EIO 5a, correspondiendo a uno de los interestadales cálidos a nivel global del Cuaternario Superior.

Por otro lado, Veroslavsky & Ubilla (2007) publican dataciones TL del denominado "ciclo sedimentario inferior de la secuencia deposicional Salto" (con resultados de: 986 ± 100 ka A.P. y 830 ± 95 ka A.P.). Probablemente se trate de valores que resultan fuera del rango del método de datación o de resultados correspondientes a muestras obtenidas de una unidad litológicamente comparable a la Fm El Palmar, pero de diferente edad (Fm San Salvador, Iriondo & Kröhling, 2008), que en afloramiento puntuales de la barranca del río Uruguay podría aflorar por debajo de la Fm El Palmar en condiciones de bajo caudal.

CORRELACIÓN ENTRE REGISTROS DEL EIO 5 EN LA REGIÓN

El registro sedimentario fluvial de la cuenca media del Uruguay bajo un período de clima cálido y húmedo del Pleistoceno Tardío se correlaciona con geoformas erosivas y acumulativas marinas y con un paleosuelo distintivo, descrito en sitios distantes de la región pampeana por varios autores. A continuación se presenta un corto análisis de los mismos.

La terraza marina del tramo inferior del río Uruguay

Aguas abajo del último afloramiento de la Fm El Palmar aparece una terraza marina de 20 Km de largo por 3,5 Km de ancho. Está desarrollada sobre la margen argentina del río Uruguay, entre los arroyos Cupalán y Potrero (entre las ciudades de Concepción del Uruguay y Galeguaychú, $32^{\circ}30' - 33^{\circ}00'S$ y $58^{\circ}14' - 58^{\circ}29'O$, Fig. 1), junto al delta holoceno del Uruguay (Iriondo & Kröhling, 2002). Dicha terraza se halla a una cota media de 10 m.s.n.m., con una leve pendiente hacia el este, con valores extremos de 12,5 m.s.n.m. (junto a las colinas) y 7,5 m.s.n.m. en el borde oriental que la limita con la llanura de mareas holocena. Esta pendiente probablemente ha sido originada por la acumulación de una delgada capa sedimentaria originada en la destrucción de las colinas adyacentes, que presentan cotas entre 25 y 30 m.s.n.m. El frente de la terraza está cubierto por campos de dunas eólicas del Holoceno Tardío. En general la superficie de la terraza no presenta elementos morfológicos visibles, sólo un área pantanosa en el norte. Inmediatamente al sur del arroyo El Potrero se preserva un sector menor de la terraza, con una longitud de 11 km y un ancho de 1 km. En la margen izquierda del río Uruguay en territorio uruguayo se ha preservado un área menor de la terraza con forma elíptica (10 km

de largo y 4 km de ancho), próximo a la desembocadura de los arroyos Román Grande y El Pingüino (al norte de Nuevo Berlín, 32°56'45"S y 58°02'23"O, Fig. 1).

Dicha terraza representa una ingresión marina anterior a la del Holoceno medio, alcanzando cotas cercanas a 10 m.s.n.m. Durante el EIO 5 el nivel del mar global ha alcanzado una cota similar. Se deduce entonces que la ingresión marina vinculada con el EIO 5 estaría representada en la cuenca inferior del Uruguay por la citada terraza marina.

Existen registros de una transgresión marina pleistocena en la provincia de Buenos Aires que alcanzan una cota cercana a la citada previamente (asignada informalmente como "piso Belgranense"). Aguirre *et al.* (1995) sugieren que evidencias geológicas y radiocarbónicas de niveles fosilíferos de afloramientos del noreste de la costa bonaerense corresponderían a parte del EIO 5. Por otra parte, González *et al.* (1986) se refieren a dos ingresiones ocurridas durante el Pleistoceno Tardío a partir de la existencia de depósitos marinos a lo largo de la costa argentina entre los 33°S y los 40°S. En la barranca de la margen izquierda del tramo final del Uruguay (Nueva Palmira), Martínez *et al.* (2001) hallaron estratos compuestos por moluscos marinos localizados a 12-13 m de altura e indicadores de una temperatura del agua de mar superior a la actual. Considerando las edades radiocarbónicas obtenidas (31-35 ka A.P.), Martínez *et al.* (2001) interpretan que el depósito fue probablemente generado durante el Último Interglacial (EIO 5). Es importante considerar que las dataciones radiocarbónicas de malacofauna obtenidas por los citados autores se refieren a edades mínimas y que ellos suponen una edad EIO 5.

Los paleosuelos de la región pampeana

De acuerdo con Kröhling (2008), estudios pedoestratigráficos de secuencias loésicas cuaternarias aflorantes en la llanura Pampeana revelaron la existencia de dos fuertes períodos formadores de suelos en el último ciclo glacial-interglacial, que desarrollaron suelos extensivos de distribución regional. Dichos suelos tienen gran significado paleoclimático, al indicar la existencia de períodos de relativa estabilidad del paisaje bajo condiciones climáticas más benignas, si son comparadas con las fases áridas o semiáridas caracterizadas en la región por eventos de acumulación eólica y/o fases erosivas. El paleosuelo correlacionado con parte del EIO 5 (Frechen *et al.*, 2003; Kemp *et al.*, 2006) tuvo mayor grado de desarrollo en la región Pampeana, tomando como base los rasgos pedológicos observados in situ, aunque su nivel de preservación fue menor comparado con el del suelo generado durante el *Optimum Climaticum* del Holoceno (Kröhling, 2008).

Kemp *et al.* (2006) correlacionan dos paleosuelos aflorantes en perfiles estratigráficos de la Pampa, distantes entre sí, y en base a las dataciones OSL obtenidas por ellos deducen una probable coincidencia de la actividad pedogénica entre ca. 105 ka A.P. (o posiblemente 90 ka) y 80 ka A.P. Dichos autores concluyen que ambos paleosuelos habrían sido desarrollados durante o al menos en parte del Último Interglacial *sensu lato*, comprendido en el EIO 5.

CONCLUSIÓN

El EIO 5 (Pleistoceno Tardío) está representado en la cuenca del río Uruguay y regiones vecinas por un escenario general de clima cálido y húmedo con actividad fluvial generalizada, en la cuenca media por la presencia de la Fm El Palmar. Esto habría sido acompañado por un ascenso del nivel del mar, dado que la identificación de la terraza alta del río Uruguay en imágenes satelitales y el reconocimiento de campo permitieron correlacionar la cota del tope de la Fm El Palmar (aproximadamente 10 m por encima del fondo de los valles afluentes) con una terraza de erosión marina identificada en la cuenca inferior del río Uruguay, a ambos lados del valle fluvial actual (actualmente con cotas entre 12,5 y 7 m.s.n.m.).

Paleosuelos datados por OSL por otros autores en la Llanura Pampeana arrojan edades similares a las obtenidas por TL en la Fm El Palmar (entre ca. 80 y 90 ka A.P.), es decir, coincidentes con el subestadio EIO 5a. Esto podría estar indicando que el pulso climático más fuerte del Último Interglacial en la región habría ocurrido en esa época, en ligero retraso con los registros europeos, que indican para esto al EIO 5e (coincidente con el Eemiano).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Gabriel Galina por la realización de ambos mapas de esta contribución. Al CONICET y a la UNL por haber brindado financiamiento para la realización de los trabajos de campo.

Recibido | Received: 05 de Abril de 2010

Aceptado | Accepted: 01 de Diciembre de 2010

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.** 2007. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. *Serie Correlación Geológica* 22. Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO). San Miguel de Tucumán. 160 pp.
- Aguirre, M., D. Bowen, G. Sykes & R. Whatley.** 1995. A provisional aminostratigraphical framework for late Quaternary marine deposits in Buenos Aires province, Argentina. *Marine Geology*. 128:85-104.
- Aznarez, J.** 1945. Apuntes y notas sobre una nomenclatura para los suelos del Uruguay, basada en la geología, con referencia especial a los departamentos de Paysandú, Río Negro, Artigas, Salto y Rivera. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 40:67-201. Montevideo.
- Bossi, J.** 1969. Geología del Uruguay. *Universidad de la República, Colección Ciencias* 2. Dpto. de Publicaciones. Montevideo. 464 pp.
- Bossi, J., L. Ferrando, A. Fernandez, G. Elizalde, H. Morales, J. Ledesma, E. Carballo, E. Medina, I. Ford & J. Montaña.** 1975. *Carta Geológica del Uruguay*: Dirección de Suelos y Fertilizantes, MAP. Montevideo.
- Brandoni, D., B. Ferrero, & E., Brunetto.** 2010. *Myiodon darwini* owen (Xenarthra, Mylodontinae) from the Late Pleistocene of Mesopotamia, Argentina, with remarks on individual variability, paleobiology, paleobiogeography, and paleoenvironment. *J. Vert. Paleontol.* 30(5):1547-1558.
- Brea, M. & A.F. Zucol.** 2007. New fossils record from Uruguay Basin related to El Palmar Formation floristic composition: *Ameghiniana*. 44 (4) Suplemento, 2007 (resúmenes). Buenos Aires.
- Broecker, W.** 1998. The end of the present interglacial: how and when?. *Quat. Sci. Rev.* 17:689-694.
- Ferrero, B., D. Brandoni, J. Noriega & A. Carlini.** 2007. Mamíferos de la Formación El Palmar (Pleistoceno tardío) de la provincia de Entre Ríos, Argentina. *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat.* 9(2):109-117. Buenos Aires.
- Frechen, M., G. Argüello, M. Budziac, M. Cantú, A. Carlini, J. Frilling, W. Kruck, J. Noriega, J. Sanabria, B. Scheele & E. Tonni.** 2003. Chronostratigraphy of Pampa loess –a review (resumen). *Relatorio del II Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología*. Tucumán.
- Gentili, C. & H Rimoldi.** 1979. Mesopotamia. En: *Geología Regional Argentina*: Publicación Especial de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 1:185-223. Córdoba.
- González, M., N. Weiler & N. Guida.** 1986. Late Pleistocene transgressive deposits from 33°S to 40°S, Republic of Argentina. *J. Coastal Res.* 1:39-47.
- Goso, H.** 1965. El Cenozoico de Uruguay. *Instituto Geológico del Uruguay*. Montevideo. 36 pp.
- Hjulström, F.** 1935. The morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bull. Geol. Inst. Uppsala* 25: 221-527.
- Imbrie, J., J. Hays, D. Martinson, A. McIntyre, A. Mix, J. Morley, N. Pisias, W. Prell & N. Shackleton.** 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}O$ record. En: A. L. Berger (ed.): *Milankovitch and Climate*, Part 1:269-305. D. Reidel, Hingham, Mass., USA.
- Iriondo, M.** 1980. El Cuaternario de Entre Ríos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*. 11:125-141.
- Iriondo, M. & D. Kröhling.** 2002. The Holocene marine ingression in the lower Uruguay river (abstract). *2nd Annual Conference of the International Geological Correlation Program Project N°464 "Continental Shelves during the Last Glacial Cycle: knowledge and applications"*; abstracts p. 49. São Paulo, UNESCO/IUGS, Univ. São Paulo-IOSP.
- Iriondo, M. & D. Kröhling.** 2003. A neoformed kaolinitic mineral in the Upper Pleistocene of NE Argentina. En: Dominguez, E., Mas, G. y Cravero, F. (eds.),

- 2001 *A Clay Odyssey*, Cap. II: 109-116. Amsterdam, Elsevier Publ.
- Iriondo, M. & D. Kröhling.** 2008. Cambios ambientales en la cuenca del Uruguay (desde dos millones de años hasta el Presente). *Colección Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Litoral*. Santa Fe. 360 pp.
- Kemp, R., M. Zárate, P. Toms, M. King, J. Sanabria & G. Argüello.** 2006. Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the Northern Pampa, Argentina. *Quat. Res.* 66:119-132.
- Kröhling, D.** 2008. Secuencias cuaternarias loess-paleosuelos y arena eólica-paleosuelos de la llanura pampeana: avances en la correlación a escala regional. *XVII Congreso Geológico Argentino*, resúmenes, Tomo III, p. 1226. San Salvador de Jujuy.
- Kukla, G.** 2000. The last interglacial. *Science*. 287:987-988.
- Lambert, R.** 1940. Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto. *Bol. Inst. Geol. Uruguay*. 27:1-41.
- Maignien, R.** 1976. Review on research on laterites, ORSTOM-UNESCO, 148 p.
- Martínez, S., M. Ubilla, M. Verde, D. Perea, A. Rojas, R. Guerequiz & G. Piñeiro.** 2001. Paleoecology and geochronology of Uruguayan coastal marine Pleistocene deposits. *Quat. Res.* 55:246-254.
- Miall, A.** 1988. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic) southwest, Colorado. *Sedim. Geol.* 55:233-262.
- Mones, A.** 1979. Terciario del Uruguay. Síntesis geopaleontológica. *Revista de la Facultad de Humanidades y Ciencias, Serie Ciencias de la Tierra* 1 (1):1-27. Montevideo.
- Rimoldi, H.** 1963. Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero (provincia de Entre Ríos). *I Jornadas Geológicas Argentinas*, anales 2:287-310. Buenos Aires.
- Scasso, R. & C. Limarino.** 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. *Asociación Argentina de Sedimentología*, Publicación Especial 1:1-259.
- Tonni, E.** 1987. *Stegomastodon platensis* y la antigüedad de la Formación El Palmar en el Departamento Colón, E. Ríos. *Nota Paleontológica Ameghiniana* 24(3-4):323-324.
- Veroslavsky, G. & J. Montaña.** 2004. Sedimentología y Estratigrafía de la Formación Salto (Pleistoceno). En: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.) *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales - Cenozoico*. Dirac - Facultad de Ciencias, pp. 147-166. Montevideo.
- Veroslavsky, G. & M. Ubilla.** 2007. A 'snapshot' of the evolution of the Uruguay River (Del Plata Basin). The Salto depositional sequence (Pleistocene, Uruguay, South America). *Quat. Sci. Rev.* 26:2913-2923.
- Zucol, A.F., Brea, M. & A. Scopel.** 2005. First record of fossil wood and phytolith assemblages of the Late Pleistocene in El Palmar National Park (Argentina). *J. South Am. Earth Sci.* 20:33-43.