

Paleoambiente y paleocomunidades de la Formación Palo Pintado (Mioceno-Plioceno), Provincia de Salta, Argentina

**Claudia Inés Galli^{1,2}, Luisa Matilde Anzótegui^{3,*},
Maricel Yanina Horn⁴ y Lourdes Susana Morton³**

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Av. Bolivia 1239, 4600 S.S. de Jujuy.

² Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177, 4400 Salta, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste y Centro de Ecología Aplicada del Litoral, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ruta 12, Km. 2.5, 3400 Corrientes, Argentina.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Universidad Nacional del Nordeste, Centro de Ecología Aplicada del Litoral, Ruta 12, Km. 2.5, 3400 Corrientes, Argentina.

* luisaanzotegui@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se reporta el estudio de los depósitos sedimentarios y fósiles (vegetales, bivalvos y vertebrados) de la Formación Palo Pintado (Grupo Payogastilla, Mioceno Superior) que afloran en el sur de la Provincia de Salta, Argentina. La columna estratigráfica consta de 1,387 m de sedimentos fluviales continentales. Se interpreta el paleoambiente sedimentario mediante el análisis de la arquitectura fluvial, con el fin de lograr una reinterpretación del mismo y relacionar estos resultados con las paleocomunidades y las condiciones paleoclimáticas en el que estas últimas se habrían desarrollado. Con base en las características estratigráficas y sedimentológicas analizadas, se brindan nuevas interpretaciones paleoambientales: la secuencia comprende una clase intermedia entre ríos de baja sinuosidad, con canales múltiples y ríos de alta sinuosidad con canal simple conformando un sistema fluvial sinuoso areno-gravoso con desarrollo de lagunas. Las acumulaciones intracanal están conformadas por depósitos de barras gravosas y formas de lecho y los depósitos de overbank están representados por barras de acreción lateral; también se destaca la presencia de canales pequeños identificados como crevasse channel. La llanura de inundación es la zona en donde se pueden reconocer a las lagunas y pantanos que dieron albergue a las comunidades acuáticas y palustres; mientras que si estos depósitos se encuentran asociados a estructuras de desecación y niveles de yeso con canales abandonados, en ellos se habrían desarrollado las sabanas y praderas. Las costas de los lagos y pantanos que se entremezclan con cauces fluviales fueron los lugares donde se desarrolló la comunidad higrófila con bosques de ribera. Las paleocomunidades acuáticas, palustres y los bosques higrófilos fueron estables y se desarrollaron bajo un clima cálido y húmedo, tropical a subtropical, como lo indica, también, el desarrollo de la asociación de minerales de arcillas como illita, esmectita y caolinita. Estas condiciones paleoclimáticas se dieron en una época en que por efecto de cambios en las condiciones climáticas globales, el clima se tornó más seco y la vegetación xérica estuvo plenamente instalada. Las paleocomunidades establecidas para la Formación Palo Pintado contienen integrantes de distintas provincias fitogeográficas actuales, tanto del norte de Argentina como de otras regiones de América del Sur, aunque se considera que las comunidades actuales aún no estaban delimitadas en ese momento, siendo las fósiles antecesoras de las actuales.

Palabras clave: paleoambiente, paleocomunidades, Formación Palo Pintado, Mioceno, Plioceno, Argentina.

ABSTRACT

A study of fossils (plant, bivalves and vertebrates) and sedimentary deposits was undertaken in a section of the Palo Pintado Formation (Payogastilla Group, Upper Miocene), southern Salta Province, Argentina. The section consists of 1,387 m of continental fluvial deposits. On the basis of fluvial architecture analysis, the sedimentary paleoenvironment was reinterpreted and the results were related to the paleocommunities and the paleoclimate conditions in which they may have developed. On the basis of stratigraphic and sedimentological features, we introduce new paleoenvironmental interpretations: the strata are related to an intermediate class between low and high sinuosity rivers forming a wandering sand-gravel fluvial system with small lagoons. Channel and overbank deposits can be distinguished within this river system: Accumulations within channels are composed of gravels bars and sandy bedforms, whereas overbank deposits are represented by crevasse channels, small crevasse channels, and floodplain deposits. In the floodplains, lagoons and marshes can be recognized in which aquatic and marsh communities developed, whereas during the dry season, or during longer dry intervals, suggested by desiccation cracks and thin gypsum beds, savannas and grasslands would have developed. The coasts of the lakes and marshes, which intermingled with fluvial riverbeds, were inhabited by hygrophilous communities and woodland. The aquatic and marsh paleocommunities and the hygrophilic forests were stable and developed under a hot and humid, tropical to subtropical climate, which is also indicated by the development of clay mineral assemblages of illite, smectite and kaolinite. These paleoclimatic conditions occurred at a time when global climatic changes led to drier conditions and to the establishment of xeric vegetation. The paleocommunities defined for the Palo Pintado Formation contain members of various current phytogeographic provinces from northern Argentina and other South American regions, although the modern communities had not been established at that time, and the fossil ones can be considered as their predecessors.

Keywords: paleoenvironment, paleocommunities, Palo Pintado Formation, Miocene, Pliocene, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los depósitos sedimentarios cenozoicos estudiados de la Formación Palo Pintado, se encuentran ubicados en la zona sur del Valle Calchaquí, entre los 25°41'01"S–66°07'55"W y los 25°40'59"S – 66°05'49"W, aproximadamente a 200 km al suroeste de la ciudad de Salta, en el norte de Argentina (Figura 1). Estos depósitos forman parte del Grupo Payogastilla (Díaz y Malizzia, 1983) que se encuentra integrado, de base a techo, por las formaciones Los Colorados, Angastaco, Palo Pintado y San Felipe con más de 6000 m de espesor acumulados en la zona de la fosa-frontal de la cuenca de antepaís cenozoica (Eoceno Medio-Plioceno), como producto de la inversión tectónica de la cuenca de *rift* del Grupo Salta (Cretácico-Paleógeno).

La Formación Palo Pintado se depositó entre los 10.29±0.11 Ma (K/Ar) (Galli et al. 2008) y los 5.27 ± 0.28 Ma (²⁰⁶Pb/²³⁸U; Coutand et al., 2006) y está constituida por ciclos grano y estratodecrecientes de conglomerados soportados por matriz, areniscas cuarzosas y sublíticas limpias, medianas a finas, que culminan con niveles de pelitas verdes, que han sido interpretados como sistemas fluviales de ríos anastomosados de baja jerarquía y baja movilidad (Díaz, 1985, 1987; Díaz et al., 1987; Herbst et al., 1987).

Actualmente se recomienda que el término anastomosado sea restringido a ríos con características de una red de canales estables de baja a alta sinuosidad, y el término

trenzado (*braided*) para ríos inestables, con bajo parámetro de sinuosidad, sección transversal somera y gran carga de lecho (Miall, 1977) descritos en el sentido de Davis (1898) y de Chamberlin y Salisbury (1909). A fin de aportar más datos a las condiciones del depósito se han analizado en forma preliminar seis niveles pelíticos verdes y marrones mediante difracción de rayos X.

Una gran diversidad de fósiles se recolectan en los depósitos estudiados, principalmente en los niveles basales y medios en donde abundan láminas foliares bien preservadas (Herbst et al., 1987; Anzótegui, 1998, 2006), frutos (Anzótegui et al., 2007); palinomorfs (Anzótegui y Cuadrado, 1996; Acevedo et al., 1997; Acevedo et al., 1998; Mautino, 2007); bivalvos (Morton, 1992; Herbst et al., 2000); escasos leños (Lutz y Martínez, 2007) y vertebrados, representados por escamas y vértebras de peces, escamas de tortuga, una mandíbula de *Caiman* sp. y mamíferos (Díaz et al., 1987; Starck y Anzótegui, 2001); *Kraglievichia* sp., *Phohophorus* sp., *Toxodontidae* (cf. *Xotodon* sp.) y *Gliptodontidae* (*Plyctaenopyga* y *Stromatophorus*). Los vertebrados solamente están citados en trabajos generales o como comunicaciones personales y no los respaldan trabajos taxonómicos. Recientemente (Anzótegui y Horn, 2007) han halladas otras impresiones de vegetales (*Lycopodiella* sp., *Equisetum* sp., *Mayaca* sp., *Cabomba* sp., *Sapium* sp., *Cedrela* sp. y *Malvaciphyllum* sp.) y bivalvos, *Anodontites* sp. y *Diplodon* sp., los que

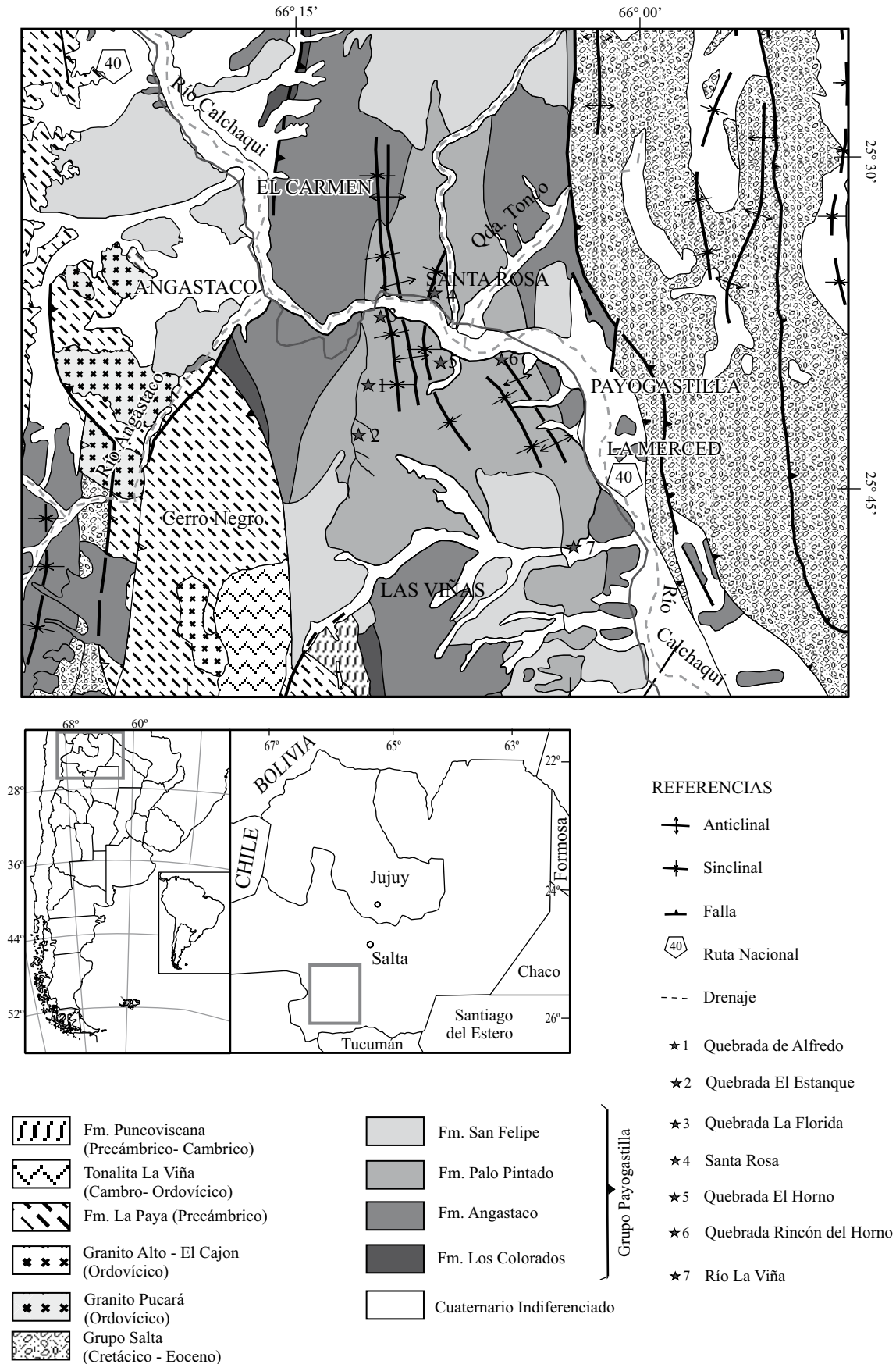


Figura 1. Mapa Geológico y de ubicación geográfica de las localidades fosilíferas. Tomado de Hongn y Seggiaro (2001); Salfity y Monaldi (2006).

permitirán ampliar aspectos acerca de las paleocomunidades, el paleoambiente y el paleoclima. Con el material fósil se han reconstruido las siguientes paleocomunidades: acuáticas (con distintas paleoasociaciones), palustres, bosques de ribera estratificados y sabanas o praderas y se ha establecido que estas paleocomunidades pertenecen a la región paleofitogeográfica Neotropical Neógena (Barreda *et al.*, 2007). En Starck y Anzótégui (2001), se destacó que el ambiente en que fue depositada esta formación responde a condiciones climáticas comparativamente más benignas que las que muestran otras formaciones regionales coetáneas y la tendencia global que tiende a un desmejoramiento climático. Las paleocomunidades establecidas contienen integrantes de distintas provincias fitogeográficas actuales, tanto del norte de Argentina como de otras de América del Sur, se considera que las actuales en ese momento aún no estaban delimitadas, siendo las fósiles antecesoras de las mismas.

El presente trabajo se basa en observaciones sedimentológicas y paleontológicas en los afloramientos de la Quebrada del Estanque, Quebrada de Alfredo, Quebrada del Horno, Rincón del Horno y en el río Calchaquí de la Formación Palo Pintado (Figura 1). El objetivo del mismo es reinterpretar el paleoambiente sedimentario mediante la arquitectura fluvial y relacionar estos resultados con las paleocomunidades, para reconstruir el escenario y las condiciones paleoclimáticas en el que estas últimas se habrían desarrollado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se relevataron tres perfiles sedimentológicos en el río Calchaquí, en las quebradas del Estanque y de Alfredo, y se los representa en un perfil integrado a escala 1:500 (Figura 2). Al realizar los perfiles se puso especial énfasis en el reconocimiento de los distintos tipos litológicos, la identificación de las estructuras sedimentarias primarias, la caracterización y jerarquización de las discontinuidades que limitan a los distintos cuerpos y la medición de datos de paleocorrientes. Se procedió a la definición de litofacies sedimentarias y se realizó el análisis de los diferentes elementos arquitecturales (Miall, 1985, 1987, 1988a, 1988b, 1994, 1995, 2006) a partir de las asociaciones tanto vertical como lateral, geometría, jerarquización de límites entre elementos y variación de paleocorrientes.

Para el análisis de difracción de rayos X de arcillas se realizó la molienda de la roca hasta ser retenido el polvo en la malla de 200 mm. A ésta fracción se la colocó en un portaobjetos y se la analizó con valores de 2θ entre 3° y 60° . Se prepararon además muestras orientadas saturadas en Mg, etilenglicol, difractándose con valores de 2θ entre 3° y 30° . Posteriormente fueron calcinadas hasta 500°C , para comprobar la presencia de caolinita, ya que a esta temperatura se destruye la estructura cristalina de esta arcilla.

En cuanto a los fósiles, es de destacar que los bivalvos y las láminas foliares son abundantes y presentan muy buena preservación en los estratos que los contienen. A partir de las impresiones foliares, frutos, palinomorfos, bivalvos, huesos, escamas y placas de vertebrados (ya citados previamente) y relacionando los hábitos de vida y hábitat de los afines actuales a estos fósiles, se infieren las paleocomunidades que ellos habrían integrado; este es un procedimiento usual llevado a cabo por la mayoría de los paleontólogos con organismos fósiles del Cenozoico. Surge de la hipótesis de la estabilidad del hábito y ambiente de los organismos a través del tiempo; si bien en algunos casos la comparación no sea 1:1 de exacta, debido a que existen taxa más versátiles que otros o que han sufrido cambios evolutivos. No obstante en este caso, para cada una de las paleocomunidades inferidas, se agrupan integrantes que son característicos de determinados ambientes, los que difícilmente hayan variado con el transcurso del tiempo. Siguiendo este criterio, son característicos de ambientes acuáticos: las algas clorofíceas y las pteridofitas flotantes (Salviniaceae), entre las magnolifitas, familias como Mayacaceae, Cabombaceae e Hydrocharitaceae; entre los invertebrados y vertebrados, los moluscos y los peces, respectivamente. Son característicos de ambientes palustres los musgos, otras pteridofitas, como Equisetaceae, Pteridaceae, Blechnaceae y Lycopodiaceae; magnolifitas como Cyperaceae y Onagraceae. De la vegetación que crece a la vera de los ríos (bosques higrófilos), son típicas las siguientes familias arbóreas: Lauraceae, Moraceae, Sapotaceae, y Meliaceae; en tanto que del estrato herbáceo-arbustivo, dentro de las pteridofitas, las Osmundaceae, Anemiaceae, y Lophosoriaceae. Los palinoformos, si bien se designan con morfotipos, las afinidades establecidas, no son menos seguras; en este caso, cuando se los cita, se consigna entre paréntesis el nombre del taxón actual afín a la especie fósil.

RESULTADOS

Análisis de litofacies y elementos arquitecturales

Se relevaron tres perfiles sedimentológicos en el río Calchaquí, en las quebradas del Estanque y de Alfredo, sector sur del Valle Calchaquí (Figura 1) y se los representa en un perfil integrado a escala 1:500 (Figura 2). La Formación Palo Pintado consta de ciclos estratodecrecientes de conglomerados matriz soporte, areniscas y culminan con depósitos pelíticos marrones y verdes. Se describen estos depósitos con base en las facies sedimentarias y la caracterización y jerarquización de las discontinuidades que limitan los distintos cuerpos, con el fin de analizar la arquitectura fluvial conjuntamente con la medición de datos de paleocorrientes.

Descripción e interpretación de litofacies

Ch. Conglomerado fino, matriz soporte, con moderada

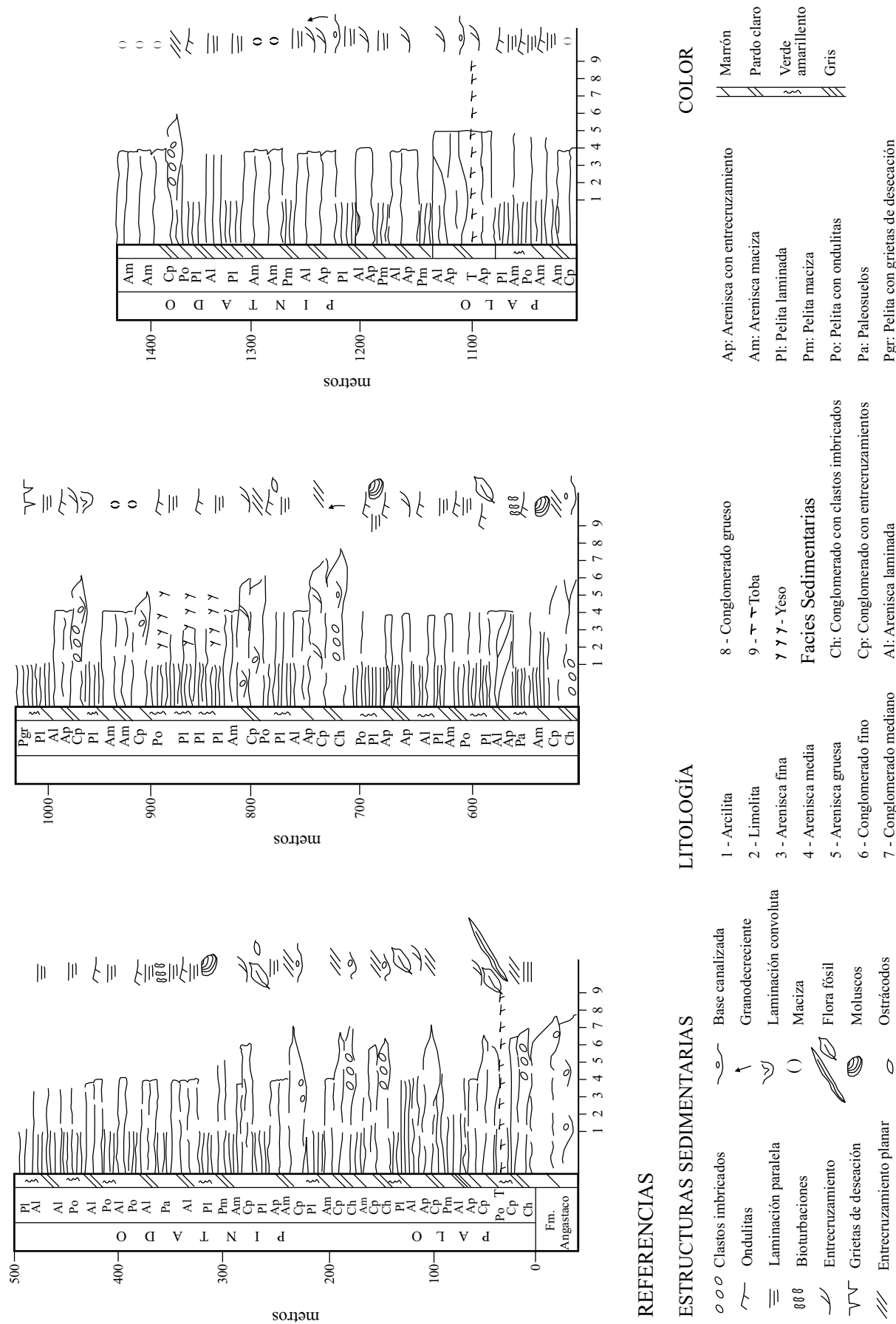


Figura 2. Columna estratigráfica integrada de la Formación Palo Pinto.

selección de clastos subangulosos a subredondeados, con tamaño máximo de 20 cm siendo comunes los clastos imbricados. La matriz es de arena gruesa a sábulo y presenta estratificación horizontal. Conforman cuerpos irregulares de hasta 70 cm de espesor con base erosiva. Aunque la geometría de mayor escala es tabular, en ocasiones ésta resulta del apilamiento y solapamiento lateral de numerosos rellenos de canal individual.

Interpretación. Las características de este depósito sugieren un transporte de carga tractiva bajo condiciones de alta descarga en canales. Depósitos de alto régimen de flujo acumulados en el canal. Cuando se presentan como canales múltiples erosionan los depósitos anteriores.

Cp. Conglomerado fino a mediano, soportado por matriz, con estratificación entrecruzada planar, generalmente presentan gradación positiva. Estas litofacies también presentan una gradación granulométrica lateral, desde conglomerado medio a un conglomerado muy fino. Estrato tabular y lenticular fino a mediano, con bases erosivas, se encuentra asociado en la vertical con areniscas con estratificación entrecruzada (Ap), laminadas (Al) y macizas (Am).

Interpretación. Corresponden a acreción lateral y frontal de barras fluviales. La estratificación entrecruzada se genera por la acreción frontal durante la migración de la barra, generalmente por fenómenos de avalanchas de material del techo del depósito. Con base en sus características pueden ser interpretados como rellenos de canales menores: como dunas 3D y/o barra linguoides.

Al. Arenisca mediana a fina, moderadamente seleccionada, internamente con laminación paralela fina y ondulitas en el techo. Estratos tabulares medianos a finos, con bases netas planas.

Interpretación. Transportadas bajo condiciones de moderado a bajo régimen de flujo y como migración de ondulitas dentro de la llanura de inundación.

Ap. Arenisca fina a mediana, moderadamente seleccionada, con *set* de laminación entrecruzada planar, *lag* residual y superficies de reactivación. Algunos estratos presentan laminación convoluta e intercalaciones pelíticas. Estrato tabular con base cóncava erosiva irregular que también se presenta como unidades en forma de cuña entre las facies conglomerádicas (Cp).

Interpretación. Estas facies representan la migración de formas de lecho en canales que pueden relacionarse a dunas 2D, barras transversas y *sand wave* (Allen, 1983). Cuando están asociadas con facies conglomerádicas son interpretadas como el resultado de la migración de mesoformas en el techo de barras gravosas. Los contactos erosivos cóncavos representan superficies de erosión de canales múltiples.

Am. Arenisca fina a mediana, moderadamente seleccionada, maciza y en algunos casos presentan estratificación horizontal mal definida. Estas facies se presentan en estratos tabulares medianos a finos o acunados y con una extensión lateral de por lo menos 15 m con bases erosivas.

Interpretación. Las características generales indican

que se trata de un proceso de rápida depositación durante periodos de alta descarga de agua y sedimentos; de rápida acumulación y pobre selección. Se interpreta el origen de estas facies como flujos hiperconcentrados arenosos (Smith, 1990) asociadas con periodos de alto régimen de flujo.

Pl: Arenisca muy fina, limolita y pelita finamente laminada e interestratificada. Algunos bancos presentan niveles de yeso y grietas de desecación (facies Pgr).

Interpretación. Esta intercalación de depósitos representa el material transportado por corrientes débiles en suspensión y tracción (Miall, 2006). Depósitos de *overbank*, canales abandonados, depósitos de desbordamiento o depósitos de *waning floods*.

Pm: Limolita y arcilita laminada en estratos finos y en ocasiones macizos. Algunos niveles presentan grietas de desecación (facies Pgr). Otros depósitos rellenan canales menores presentando bases cóncavas y techo plano, internamente laminados.

Interpretación. Estas facies por sus características y la ausencia de niveles arenosos, han sido interpretadas como depositadas por procesos de decantación en la llanura de inundación (Miall, 2006) y en algunas ocasiones acumuladas en canales abandonados de pequeño tamaño.

Po: Limolita y arcilita, con ondulitas asimétricas escalonadas y laminación paralela muy fina, con presencia de flora fósil. Algunos niveles presentan, además, grietas de desecación (facies Pgr). Estratos tabulares finos a medianos, con bases netas.

Interpretación: Depósitos de decantación subacuática, con posterior desecación.

Pa: Pelita maciza con concreciones calcáreas, pedotúbulos y bioturbación. Estratos tabulares finos a medianos. Presentan abundantes restos vegetales.

Interpretación. Estas litofacies han sido desarrolladas en la llanura de inundación y representan paleosuelos.

Análisis e interpretación de difracción de rayos X en arcillas

Se han analizado, por difracción de rayos X, seis muestras de los niveles pelíticos: dos de la facies Po, dos de la facies Pa, una de la facies Pm y una de facies Pl. La composición mineralógica de la fracción arcillosa (< 2mm) de la Formación Palo Pintado incluye minerales del grupo de las arcillas como: illita, interestratificados de illita-esmectita, esmectita y caolinita; y minerales no arcillosos como: cuarzo, plagioclasa y calcita (Figura 3).

La generación de minerales de arcilla alterados en forma incompleta, como illita y esmectita, se producen por bialitización (hidrólisis) en climas templados-húmedos (Scasso y Limarino, 1997) y por la alteración de rocas del basamento como pizarras y esquistos (Formación Puncoviscana y Formación La Paya - Neoproterozoico superior, Figura 1).

La mineralogía inicial heredada estaría constituida por

los filosilicatos (illita, mica, cuarzo, feldespatos, etc.) y la interacción de estos depósitos con aguas alcalinas cargadas en magnesio sería responsable de la formación autigénica de esmectitas (Pozo *et al.*, 1995a, 1995b; Pozo y Casas, 1995). La caolinita habría derivado de la alteración de rocas graníticas y pegmatitas ordovícicas bajo las mismas condiciones climáticas cálidas-húmedas.

Asociación de litofacies y elementos arquitecturales

El arreglo estratigráfico de la Formación Palo Pinto se muestra en la Figura 2. A partir del análisis de litofacies, se reconocieron nueve horizontes de origen fluvial. Las litofacies identificadas fueron agrupadas, de acuerdo a como se presenta la sucesión en la columna estratigráfica, reconociéndose seis elementos arquitecturales definidos en la Tabla 1.

Elemento GB. Consiste en depósitos cuneiformes y mantiformes gravosos, de 0.5 a 0.7 m de espesor, constituidos por litofacies Cp, Ch y Am. Están limitados por superficies planas o irregulares erosivas de 2°, 3° y 4° orden, se desarrollan en mantos multiepisódicos de 10 a 20 m de espesor (Figura 4a-4c). Se forman durante episodios de grandes descargas de agua y sedimento, los mantos agradan y se desarrollan pendiente abajo formando barras gravosas, que consisten en depósitos con geometría cuneiforme y mantiforme a gran escala. Las litofacies Cp cuneiformes con gradación lateral representan *scour fills* (corte y relleno, Figura 4b) (Smith, 1990).

Elemento SB. Estos depósitos están integrados por litofacies de areniscas con estratificación entrecruzada planar (Ap), asociados en el tope a litofacies de areniscas laminadas y con ondulitas (Al) (Figuras 4a, 5b). Representan la migración de formas de lecho que se relacionan con barras transversas y *sand wave* por acreción vertical y corriente abajo en el canal. Conforman fajas complejas (Friend *et al.*, 1979) con rellenos multiepisódicos de 15 a 20 m de ancho y 0.5 a 2 m de potencia, que corresponderían a canales móviles de moderada sinuosidad (Gibling, 2006).

Tabla 1. Elementos arquitecturales reconocidos para la Formación Palo Pinto con base en las litofacies identificadas. Abreviaturas litofacies como en la Figura 2.

Código	Tipo de elemento	Asociaciones de facies
FF	Llanura de inundación	Al - Pl - Pm - Po - Pgr - Pa
FF(CH)	Relleno en canales abandonados	Ap - Pl
LA	Depósitos de acreción lateral	Cp - Am - Ap
CS	<i>Crevasse splay - Channel</i>	Ap - Al - Am
SB	Formas de lecho arenosas	Al - Ap
GB	Barras gravosas y formas de lecho	Cp - Ch - Am

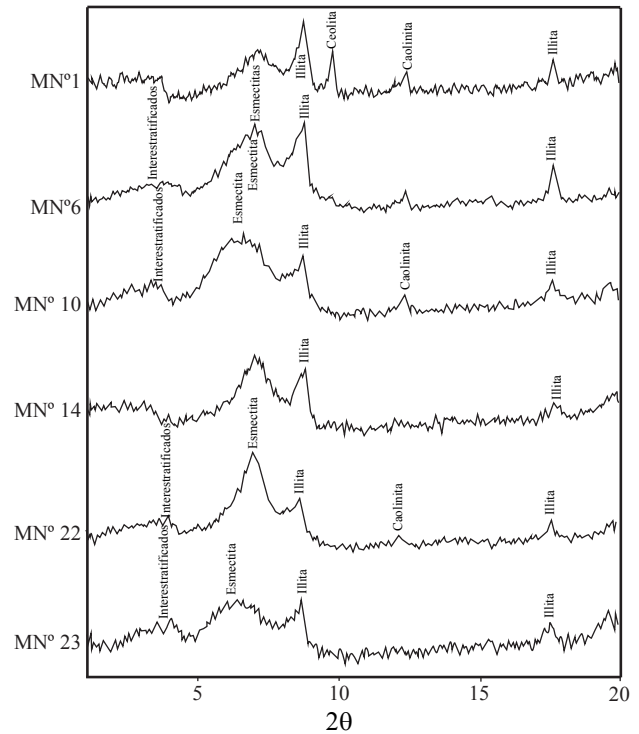


Figura 3. Diagramas de difracción de rayos X de las arcillas de la Formación Palo Pinto (MN°: número de muestra).

Elemento LA. Consisten en unidades tipo épsilon limitadas por superficies de bajo ángulo, con bases netas erosivas. Está constituida por litofacies Cp, Am, Ap, desarrolladas sobre secuencias de facies finas de planicies de inundación (Figura 4d). La geometría interna es cuneiforme (Figura 4e) presentando *sets* de acreción lateral limitados por superficies de 3° orden. Representan barras de acreción lateral. La superposición lateral y vertical de estos depósitos se interpreta como repetidos procesos de erosión y acreción lateral en la planicie de inundación (Figura 5a).

Elemento CS. Son depósitos lenticulares y cuneiformes, de aproximadamente 0.5 a 1.5 m de espesor, interdigitados con depósitos de grano fino de la llanura de inundación.

Consisten de acumulaciones de areniscas medianas con laminación tangencial (litofacies Ap), paralela, ondulitas escalonadas (litofacies Al) y macizas (litofacies Am), limitadas por superficies de 4° orden. Estos pequeños canales son interpretados como producto de la erosión en los bordes del canal principal durante eventos de inundación, acumulando estas litofacies que son asignadas a *crevasse channel* (Figura 5c). La presencia local de depósitos con entrecruzamientos de migración de dunas, indica que el flujo ha sido prolongado en el *crevasse channel* (Platt y Keller, 1992).

Elemento FF (CH). Este elemento conforma unidades tabulares integradas por areniscas finas con entrecruzamientos de bajo ángulo (litofacies Ap) y limolitas laminadas (litofacies Pl) que se acumulan en regiones deprimidas.

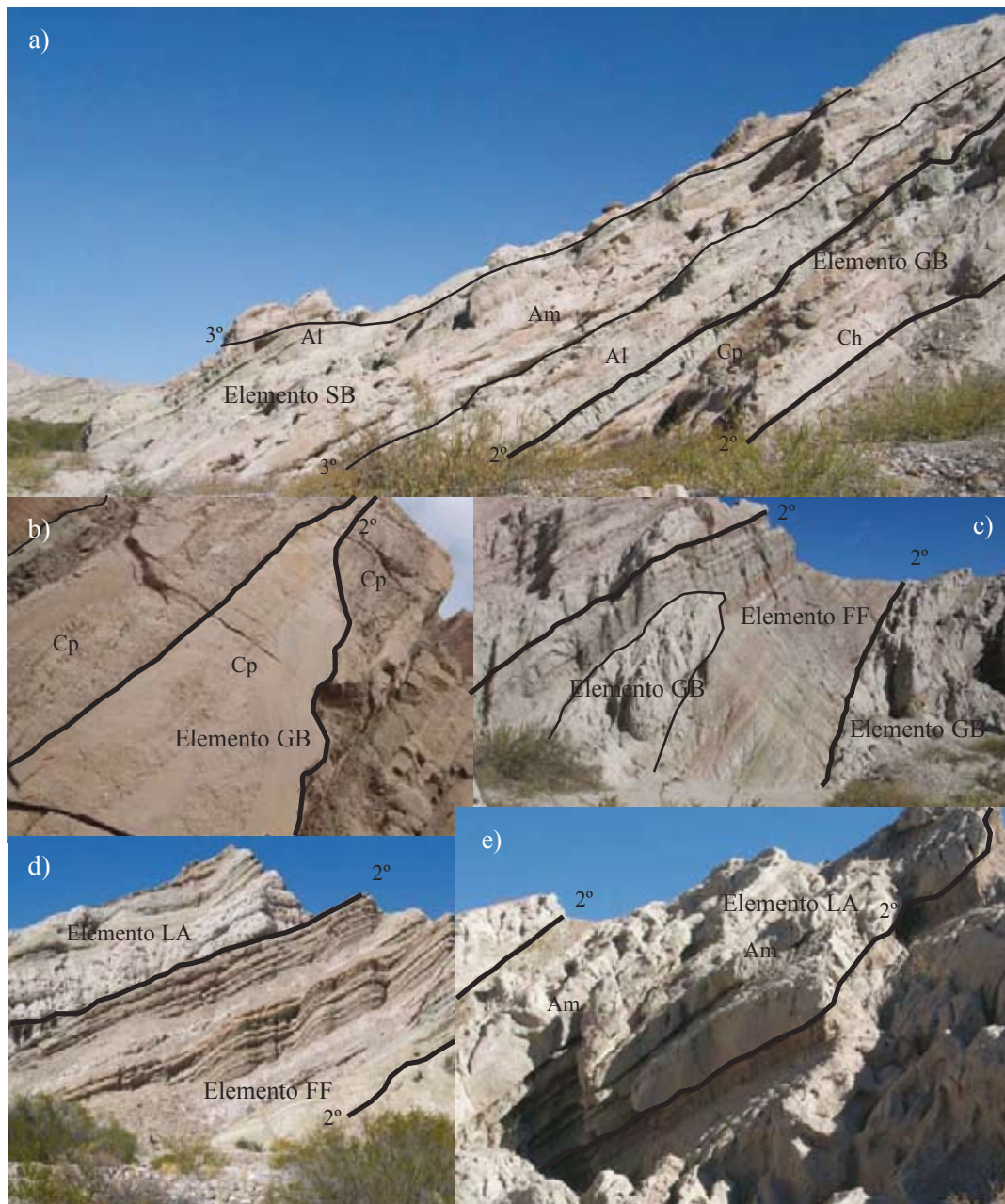


Figura 4. a: Depósitos de la base de la Formación Palo Pintado en donde se observa una secuencia de barras gravosas (GB) y formas de lecho arenosas (SB); b: Facies de conglomerados con entrecruzamientos rellenando canales menores; c: Facies de barra gravosa (GB) intercalada en depósitos finos de llanura de inundación (FF); d: Facies finas de llanura de inundación (FF) y e: Sucesión de facies (Am) de acreción lateral.

Está integrado por litofacies acumuladas bajo condiciones de bajo régimen de flujo en canales menores abandonados (Figura 5b).

Elemento FF. Estas acumulaciones están integradas por litofacies de areniscas finas a muy finas laminadas con ondulitas asimétricas (Al) y pelitas laminadas, marrón oscuro, grises y verdes, macizas, con ondulitas escalonadas Tipo A, pseudonódulos de arena (Pl, Pm y Po) que también presentan grietas de desecación (Pgr) y paleosuelos (Pa). Los estratos son finos con contactos netos y en forma de

mantos, algunos con intercalaciones de niveles de yeso (Figuras 4c, 5a, 5b, 5d).

Los depósitos mantiformes de granulometría muy fina, representan inundaciones individuales o un aporte lento y continuo de sedimento de grano fino en suspensión; se habrían acumulado en zonas de la llanura de inundación con poco drenaje, produciendo la acumulación de pelitas laminadas muy finas en lagunas (litofacies Pl y Po; Figura 5d).

Las litofacies de limo y arcilla de color marrón oscuro

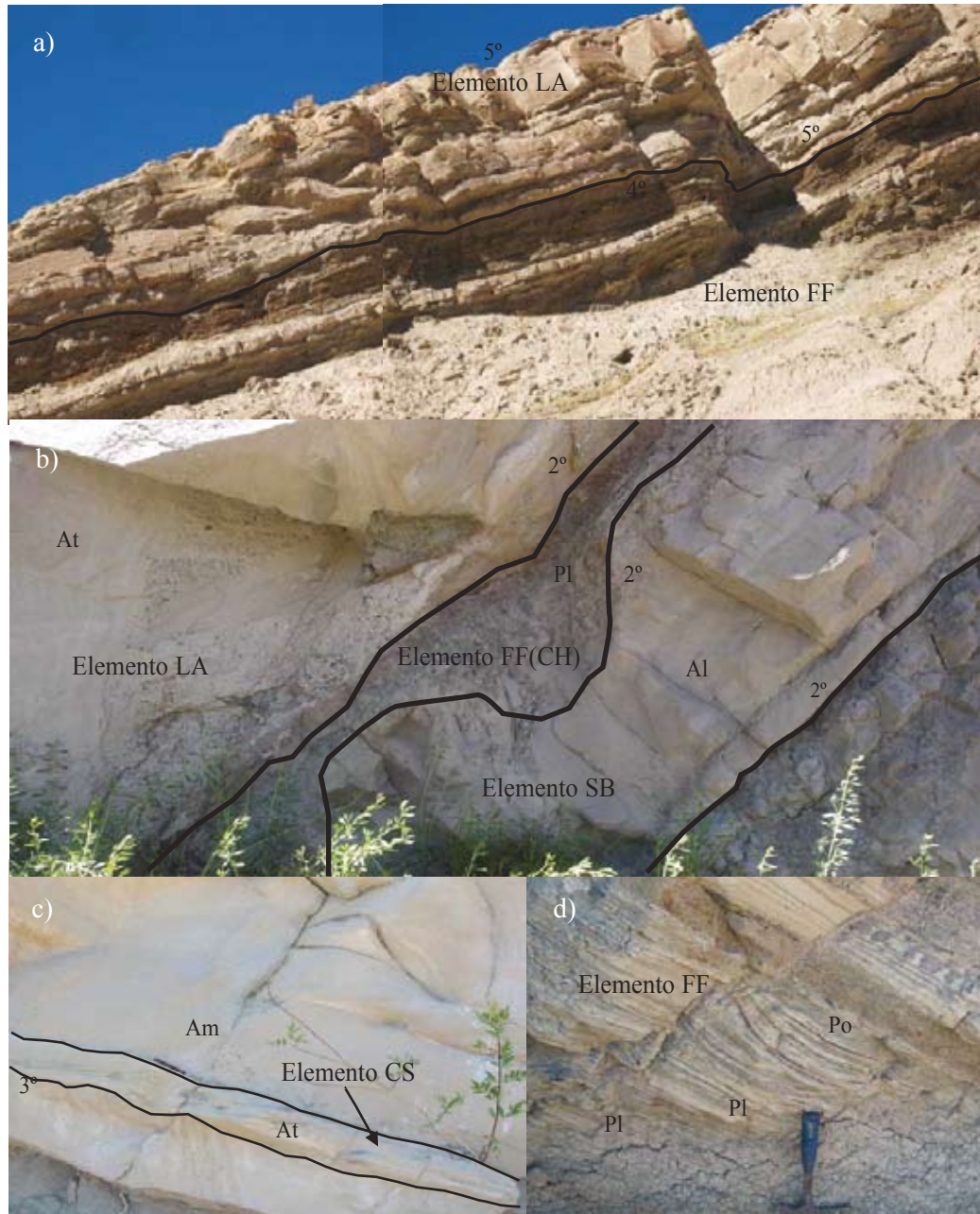


Figura 5. a: Depósito de acreción lateral (LA) limitado por superficies de 5° orden, internamente con superficies de 4° orden, por encima de una secuencia de una llanura de inundación (*floodplain*); b: Facies de limolitas laminadas relleno de zonas de canales abandonados; c: *Crevasse Channel* y d: Facies finas laminadas y con ondulitas escalonadas de llanura de inundación.

y verde (Pm, Pgr, Pa), asociadas a las anteriores, representan acumulaciones en pantanos cuyas estructuras sedimentarias primarias fueron destruidas por la acción mecánica de raíces y organismos excavadores (Figura 5a). Las lagunas y pantanos se desarrollan sobre depresiones someras y requieren para su formación lluvias abundantes y frecuentes en la llanura de inundación (FF).

El sentido dado aquí a la llanura de inundación incluye dentro de esta unidad a grandes espacios aluviales que engloban uno o más tipos de humedales.

DISCUSIÓN

Paleoambiente

Con base en las características de la arquitectura fluvial y sus litofacies asociadas, se puede distinguir un sistema fluvial con depósitos desarrollados dentro del canal o intracanal y de *overbank*. Las acumulaciones intracanal están conformadas por depósitos de barras gravosas (GB, asociación de litofacies Ch, Cp y Am) y formas de lecho

que se relacionan con barras transversas y *sand wave* por acreción vertical y corriente abajo (SB, asociación de litofacies Ap y Al). Mientras que los depósitos de *overbank* están representados por: a) barras de acreción lateral, en donde la superposición lateral y vertical representa repetidos procesos de erosión y acreción lateral en la llanura de inundación (LA, asociación de litofacies Cp, Am y Ap); b) canales pequeños producto de la erosión en los bordes del canal principal durante eventos de inundación, que son asignados a *crevasse channel* (CS, asociación de litofacies Ap, Al y Am), y c) desarrollo de una amplia llanura de inundación (FF, asociación de litofacies Pl, Pm, Po, Pgr y Pa).

Las litofacies de la Formación Palo Pintado se caracterizan por procesos básicos de corrientes fluviales que dan origen a depósitos de ríos de baja sinuosidad, con canales múltiples (los clásicos *ríos del tipo trenzado*) y a ríos de alta sinuosidad con canales simples (los clásicos *ríos meandrosos*) (Miall, 2006).

Las características generales de la arquitectura fluvial son semejantes a las de un *sistema fluvial sinuoso-gravoso*, con una sinuosidad intermedia a alta (*gravel wandering*, Miall, 1985) que corresponden a ríos de carga mixta (transportan sedimento en suspensión y tracción (Schumm, 1981, 1985) y pueden desarrollar, en algunos sectores, un canal simple y en otros, canales múltiples. La diferencia que se advierte con respecto al modelo propuesto por Miall (1985) es que se observa una importante participación del elemento SB, por lo que se propone denominarlo como un “*sistema fluvial sinuoso areno-gravoso*” (Figura 6).

Este sistema fluvial habría desarrollado amplias llanuras inundables (FF, litofacies Al, Pl, Pm, Po) que habrían sido desecadas en la estación seca o durante intervalos de tiempo más largos, lo que queda evidenciado por las grietas de desecación (Pgr), los niveles de yeso intercalados como finas láminas y los rasgos pedogenéticos (Pa). Estos depósitos presentan potentes espesores, sin una vinculación lateral con facies de canal. Las litofacies arenosas que se intercalan con los cuerpos pelíticos son registros de las inundaciones en estas lagunas a partir de crecidas no encauzadas, como producto de lluvias excepcionales.

El subambiente palustre (litofacies Pm y Pgr) se desarrolla en la orilla de lagunas en proceso de colmatación con muy bajo espacio de sedimentación y también constituye la fase final de relleno de las cubetas lagunares, cuando la acumulación de sedimentos alcanzó su máximo en la depresión dentro de la llanura de inundación (Figura 6).

Los resultados preliminares de la presencia de minerales de arcilla en el subambiente de llanura de inundación, como illita, esmectita y caolinita indican que han sido generadas por hidrólisis en un clima templado-húmedo. La formación de estos niveles arcillosos para el tiempo de depósito de la Formación Palo Pintado, evidencian un cambio climático importante entre los 10 y 5 Ma en el sistema fluvial sinuoso areno-gravoso, que no se registran en los niveles más antiguos de la misma cuenca de depósito.

Paleocomunidades

A partir de impresiones de láminas foliares, frutos, palinomorfs, bivalvos, huesos, escamas y placas de vertebrados (ya citados previamente) y relacionando los hábitos de vida y hábitat de los organismos actuales afines a los fósiles, se infieren las paleocomunidades (Figura 6) que ellos habrían integrado. Al mismo tiempo se relacionan, estas últimas, con el paleoambiente establecido desde el punto de vista sedimentológico, que corresponde al de las amplias llanuras de inundación (FF, litofacies Al, Pl, Pm, Po). Las paleocomunidades son las siguientes:

Dulceacuícola

Presenta varias asociaciones:

Planctónicas: con los siguientes representantes de clorofitas: *Pediastrum simplex* (Meyen) Lemmermann y *P. boryanum* var. *longicorne* Reinchs, *Botryococcus braunii* Kützting, *Coelastrum* sp., *Oedogonium cretaceum* Zippi, *Ovoidites parvus* (Cookson y Dettman) Nakoman, *O. grandis* Zippi, *Schizosporis* sp. (Cookson y Dettman) Pierce (estas cuatro especies son afines a *Spyrogyra* sp.), (Mautino, 2007) *Cymatiosphaera* sp., plantas flotantes de: *Salvinia* cf. *minima* Baker y *Salvinia graui* Herbst y Anzótegui (Salviniaceae) (Herbst et al., 1987).

Bentónicas: con la asociación de bivalvos: *Diplodon* aff. *guaranianus biblianus*, *Diplodon calchaquensis*, *Diplodon saltensis*, *Diplodon* sp., *Anodontites santarosae* y *Anodontites* sp. (Morton; 1992), plantas arraigadas de *Mayaca* sp. (Mayacaceae), *Cabomba* sp. (Cabombaceae), (Anzótegui y Horn, 2007) *Smilacipites aquaticus* Anzótegui y Cuadrado (*Egeria* sp., Hydrocharitaceae) y *Haloragacidites myriophylloides* Cookson & Pike (*Myriophyllum* sp., Haloragaceae) (Anzótegui y Cuadrado, 1996).

Nectónicas: con los peces (Starck y Anzótegui, 2001). El ambiente sedimentario, que habría albergado a esta paleocomunidad corresponde al elemento arquitectural FF: una llanura de inundación con poco drenaje, lo que produjo la acumulación de pelitas laminadas (litofacies Pl y Po) muy finas en pequeños lagos o estanques.

Palustre

Conformada por dos estratos de vegetales:

Herbáceo: con *Cingutritetes australis* (Cookson) Archangelsky, (*Sphagnum* sp.), (Acevedo et al., 1997). *Equisetum* sp. (Equisetaceae), *Acrostichum paleoau-reum*, *Blechnum* sp. (Pteridophyta), varias especies de Cyperaceae (Anzótegui y Horn, 2007), *Multimarginites paluster* Anzótegui y Cuadrado, (*Bravaisia* sp., Acanthaceae), *Corsinipollenites exinitenuis* Anzótegui y Cuadrado, (*Epilobium* sp., Onagraceae). (Anzótegui y Cuadrado, 1996).

Arbustivo: con *Malvaciphyllum* sp. (afín a varias especies de *Abutilon* spp. Malvaceae; (Anzótegui y Cristalli, 2000), *Gomphrenipollis pintadensis* Anzótegui y Cuadrado (*Gomphrena elegans* Mart., Amaranthaceae) (Anzótegui

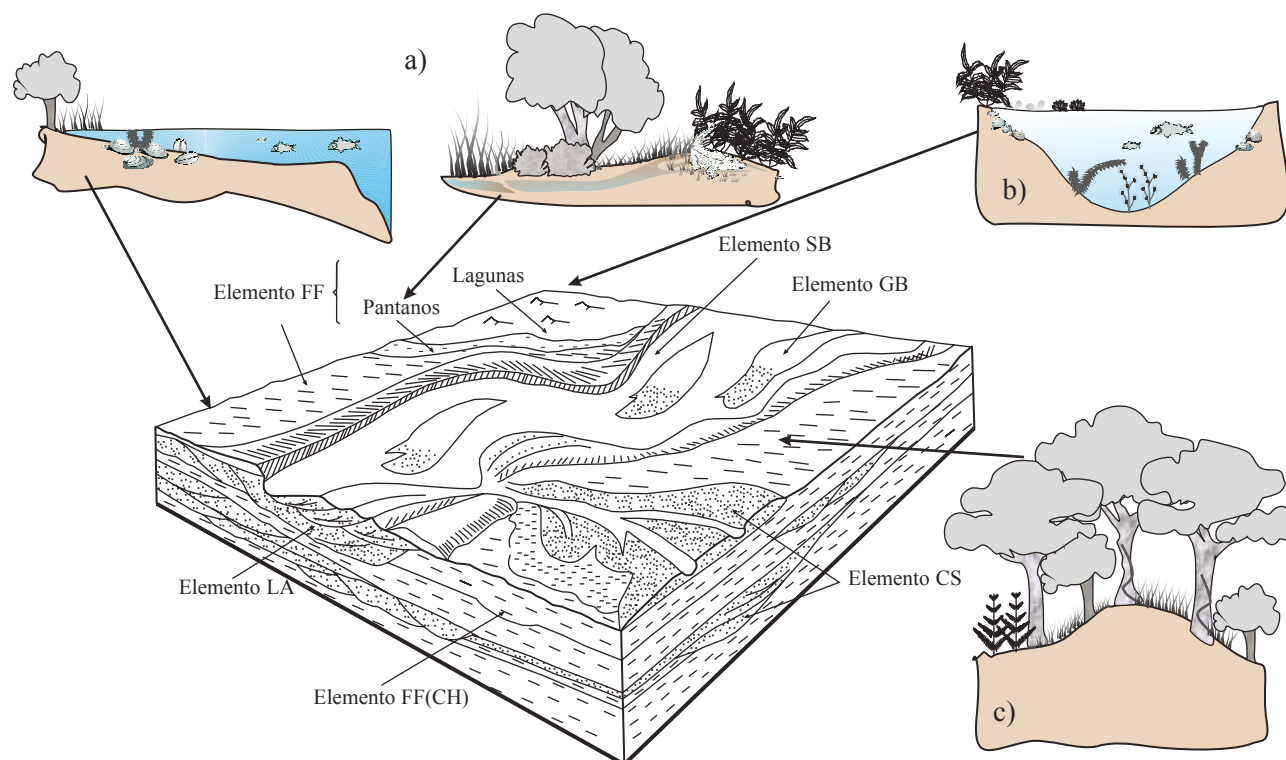


Figura 6. Diagrama esquemático de la distribución de los elementos arquitecturales interpretados para la Formación Palo Pintado (modificado de Platt y Keller, 1992 y Miall, 2006) junto a perfiles de vegetación en las diferentes paleocomunidades. a: paleocomunidad palustre; b: paleocomunidad acuática, con sus diferentes asociaciones; c: bosque de ribera estratificado.

y Cuadrado, 1996). A los que se suman las tortugas y el *Caiman* sp. (Starck y Anzótegui, 2001).

Este ecosistema continental por sus características sedimentológicas (litofacies Pm, Pgr y Pa) corresponde a cuerpos lénticos desarrollados en un subambiente palustre con aguas tranquilas, detenidas o estancadas, en zonas de inundación permanente dentro de la llanura de inundación (FF).

Bosque higrófilo

También conformado por varios estratos de vegetales:

Cespitoso: con *Lycopodiella* sp. (Lycopodiaceae), y *Reboulisporites fueguensis* Zamaloa y Romero, *Reboulisporites* sp. (Aytoniaceae, Briófitas) (Acevedo et al., 1997).

Herbáceo – arbustivo: *Todisporites minor* Couper, (Osmundaceae), *Leiotriletes regularis* (Pflug, Krutzsch) Archangelsky, (*Cheilantes concolor* (Langsd. y Fisch.) Kuhn, *Polypodiaceoisorites retirugatus* Muller, *Muricingulisporites verrucosus* Mautino y Anzótegui, *Bicingulispora concentrica* Frederiksen, Carr, Lowe y Wosika., (todas Pteridaceae); *Plicatella* sp. (Anemiaceae); *Cyatheaacidites* cf. *C. annulatus* Cookson y Potonie, (Lophosoriaceae); *Deltoidospora* sp., *Verrucosisorites subsphaerica* Acevedo, Mautino, Anzótegui y Cuadrado, (ambas *Cyathea* sp., Cyatheaceae) (Acevedo et al.,

1997), *Gomphrenipollis pintadensis* Anzótegui y Cuadrado, (*Gomphrena elegans* Mart., Amaranthaceae) *Periporopollenites miocenicus* Anzótegui y Cuadrado (varias especies de *Chamissoa*, Chenopodiaceae), (Anzótegui y Cuadrado, 1996), *Schinus herbstii* Anzótegui (*Schinus gracilipes* Johnst, Anacardiaceae, (Anzótegui, 1998).

Arbóreo: con *Nectandra saltensis* Anzótegui (Lauraceae), *Ficus tressensis* Anzótegui (Moraceae) (Anzótegui, 1998). *Cedrela* sp. (Meliaceae), *Sapium* sp. (Euphorbiaceae) (Anzótegui y Horn, 2007; Anzótegui et al., 2008); *Tetracolporopollenites pouteriae* Anzótegui y Cuadrado (*Pouteria fragrans* (Pierre) Dubard y *P. salicifolia* (Spreng.) Raldk.), *T. marginati* Anzotegui y Cuadrado (*Chrysophyllum marginatum* (Hook. & Arn.) Radlk., ambas Sapotaceae, (Anzótegui y Cuadrado, 1996) *Ilexpollenites* sp. (*Ilex* sp., Aquifoliaceae), *Striatricolporites gamerroi* Archangelsky (*Schinus terebinthifolia* Raddi, Anacardiaceae) y varias especies de Myrtaceae en (Acevedo et al., 1998).

Epífitos: con *Polypodiisorites radiatus* Pocknall y Mildenhall y *P. sp.* (*Microgramma* sp., Pteridophyta) (Acevedo et al., 1998) y *Ranunculodendron anzoteguii* Lutz y Martínez, (*insertae sedis*) (Lutz y Martínez, 2007).

Esta paleocomunidad se habría desarrollado en las llanuras de inundación (FF), donde los aportes fluviales regulan no solo el nivel de encharcamiento invernal sino también son responsables del mantenimiento del nivel freático en bosques inundados estacionalmente, existiendo una drástica

disminución entre el nivel de inundación invernal frente al estival. Las áreas mejor conservadas de estas depresiones se caracterizan por el predominio de formaciones arbóreas que constituyen los bosques aluviales (desarrollados en la llanura de inundación – FF, litofacies Al y Pl). Estas áreas deprimidas se entremezclan con cauces fluviales (formas de lecho arenosas – SB: litofacies Al, Ap y depósitos de acreción lateral –LA: Am, Ap).

Sabanas o praderas: con pocos integrantes herbáceos y arbustivos: *Graminidites* sp. (Poaceae), *Chenopodiipollis multicavus* Anzotegui y Cuadrado (complejo *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*), *Retistephanocolpites microreticulatus* Anzotegui y Cuadrado (Rubiaceae) (Anzotegui y Cuadrado, 1996), y *Equisetosporites notensis* (Cookson) Romero (Ephedraceae), junto a los vertebrados *Kraglievichia* sp., *Phohophorus* sp., Toxodontidae (cf. *Xotodon* sp.) y Gliptodontidae (*Plyctaenopyga* y *Stromatophorus*) (Starck y Anzotegui, 2001).

Esta paleocomunidad se habría desarrollado en llanuras de inundación propiamente dichas (litofacies Al, Pl, Pa y Pgr), que se presentan inundadas solo en el período estival, y el resto del año persisten con escasa humedad (evidenciada por el desarrollo de grietas de desecación y acumulación de finos niveles de yeso).

La paleoflora considerada (Anzotegui, 2006) procede del noroeste de Argentina, no obstante algunas especies afines a las fósiles se registran actualmente en el este (distante unos 1000 km) y son integrantes, tanto, de la Provincia Paranaense (*Ficus luehmanniana* (Miq.) Miq., afín de *F. tressensis*; *Sapium haematospermum* Müll. Arg., afín de *Sapium* sp.; *Chrysophyllum marginatum*, afín de *T. marginati*; *Pouteria fragrans* y *P. salicifolia* (afines de *T. pouteriae*), como de la Provincia Chaqueña Oriental (*Acrostichum aureum* L., *Blechnum serrulatum* L.C. Rich., *Lycopodiella cernua* (L.) Pich. Serm. y *Mayaca fluviatilis* Aublet afines de *A. paleoaureum*, de *Blechnum* sp., de *Lycopodiella* sp. y de *Mayaca* sp., respectivamente). Mientras que las afines de *Nectandra saltensis*, unas se encuentran en el noreste (*N. pichurim* (H.B.K.) Mez.) y otras en el noroeste (*N. pisi* Miq., *N. albiflora* Lundell., *N. citrifolia* Mez. et Rusky) integrando las provincias Paranaense y de las Yungas respectivamente; siendo *Schinus gracilipes* Johnst. (afín de *Schinus herbsteri*) también integrante de esta última. Por otra parte se debe destacar la amplia distribución subtropical a tropical que presentan las salvinias, las ciataceas y las especies actuales afines (Pennington, 1981) de *Cedrella* sp. (*Cedrella odorata* L. y *C. fissilis* Vell), que llegan también al norte de Argentina (tanto en el noreste como en el noroeste). Todo lo cual demuestra, por un lado, una fuerte influencia tropical en la paleoflora de la Formación Palo Pintado; y por otro, que las provincias fitogeográficas actuales del centro-norte de la Argentina (de las Yungas, Paranaense, Chaqueña, del Monte y del Espinal) y sur de Brasil (Atlántica) no estuvieron delimitadas durante el Mioceno Superior, como lo están en la actualidad. Por lo que se considera que la paleoflora de la Formación Palo Pintado contiene antecesores de las

actuales provincias fitogeográficas del norte argentino y sur brasileño (Anzotegui, 2006).

Teniendo en cuenta los siguientes argumentos: la fuerte influencia de elementos tropicales que muestra esta paleoflora, la elevada frecuencia y buena preservación de pecicípodos y de impresiones de láminas foliares tanto de salvinias, pteridofitas (*Acrostichum paleoaureum*, *Blechnum* sp.) como de angiospermas (Cyperaceae, Lauraceae, Meliaceae, Euphorbiaceae, etc.), el tamaño de las mismas que se encuentra en el rango de microfila a notofila, la buena estratificación de los bosques de ribera que cuentan hasta con epifitos, la escasa representación de elementos vegetales y vertebrados de sabanas o praderas; el clima (cálido y húmedo) bajo el cual se desarrollan los moluscos actuales afines a los fósiles; se infiere que las comunidades fueron estables y persistieron por tiempo prolongado en ambientes tranquilos dentro de los cuerpos ácuos o a la vera de ellos; y se desarrollaron bajo un clima tropical a subtropical cálido y húmedo, con estacionalidad poco marcada.

Estas condiciones paleoclimáticas, en principio, llaman la atención ya que en esa época, por efecto de cambios en las condiciones climáticas globales, producto a su vez, entre otros factores, del efecto continentalidad-oceanidad, de los cambios en los patrones de circulación atmosférica y oceánica, del inicio de la orogenia andina, del volcanismo y del desarrollo de la calota antártica, el clima se tornó más seco y la vegetación xérica estuvo plenamente instalada. La presencia de un clima tropical a subtropical cálido y húmedo, con estacionalidad poco marcada se debió a que los diversos factores, citados previamente, habrían afectado diferencialmente distintos sectores de esta región. En el caso particular de la Formación Palo Pintado habrían influido, además, los vientos provenientes del Atlántico, que condensaron la humedad en el flanco oriental de la incipiente cadena andina (Starck y Anzotegui, 2001).

CONCLUSIONES

Los subambientes reconocidos con base en el análisis de las litofacies sedimentarias y de la arquitectura fluvial, constituyen los escenarios en los que se habrían desarrollado las paleocomunidades de la Formación Palo Pintado. Estos depósitos presentan litofacies características de un sistema fluvial sinuoso areno-gravoso con desarrollo de una amplia llanura de inundación. En este sistema fluvial se identifican depósitos desarrollados dentro del canal o intracanal y de *overbank*. Las acumulaciones intracanal están conformadas por depósitos de barras gravosas (GB) y formas de lecho (SB) y los depósitos de *overbank* están representados por barras de acreción lateral (LA); también se destaca la presencia de canales pequeños producto de la erosión en los bordes del canal principal durante eventos de inundación identificados como *crevasse channel* (CS). La llanura de inundación (FF) es la zona en donde se pueden reconocer las lagunas (litofacies Po y Pl) y pantanos (litofacies Pm y Pgr)

que dieron albergue a las comunidades acuáticas y palustres; mientras que si estos depósitos se encuentran asociados a estructuras de desecación y niveles de yeso (litofacies Pgr) con canales abandonados, habrían dado lugar al desarrollo de las sabanas o praderas (FF-CH). Las costas de los lagos y pantanos que se entremezclan con cauces fluviales (formas de lecho arenosas – SB y depósitos de acreción lateral -LA) fueron los lugares donde se desarrolló la comunidad higrófila con bosques de ribera. Las paleocomunidades acuáticas, palustres y los bosques higrófilos fueron estables y persistieron por tiempo prolongado dentro de los cuerpos ácuos o a la vera de ellos y se desarrollaron bajo un clima húmedo tropical a subtropical, como lo indica también el desarrollo de la asociación de minerales de arcillas como illita, esmectita y caolinita acumulados en la llanura de inundación, hecho que no ocurrió antes de los 10 Ma donde imperaban condiciones climáticas más secas.

La paleoflora estuvo constituida principalmente por elementos que en la actualidad se encuentran en las provincias fitogeográficas del centro-norte de la Argentina (de las Yungas, Paranaense, Chaqueña, del Monte y del Espinal) y sur de Brasil (Atlántica), lo que lleva a reconocer en la paleoflora de la Formación Palo Pintado (Mioceno-Plioceno) los antecesores de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rafael Herbst por su constante aliento y colaboración en los trabajos de campo. A los árbitros por sus valiosas sugerencias. Este trabajo se realizó en el marco de los siguientes proyectos: PI 17/F 161 (Universidad Nacional del Nordeste); PICTO-2007/124 (Agencia de Promoción Científica y Tecnológica y Universidad Nacional del Nordeste); SeCTER (Universidad Nacional de Jujuy) y CI-UNSa (Universidad Nacional de Salta) N° 1858.

REFERENCIAS

- Acevedo, T.L., Mautino, R.L., Anzótegui, L.M., Cuadrado, G.A., 1997, Estudio palinológico de la Formación Palo Pintado (Mioceno superior), Provincia de Salta, Argentina. Parte II: Esporas: *Geociencias*, 2, 112-120.
- Acevedo, L.T., Anzótegui, L.M., Mautino, L.R., 1998, Análisis palinológico preliminar de la Formación Palo Pintado (Mioceno superior), en Quebrada del Estanque, Salta, Argentina, en *Comunicaciones Científicas y Técnicas de la Universidad Nacional del Nordeste*, Resistencia, Argentina. Resúmenes expandidos, 3, 143-146.
- Allen, J.R.L., 1983, Studies in fluvial sedimentation: bars, bar complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders: *Sedimentary Geology*, 33(4), 237-293.
- Anzótegui, L.M., 1998, Hojas de angiospermas de la Formación Palo Pintado, Mioceno superior, Salta, Argentina. Parte I: Anacardiaceae, Lauraceae y Moraceae: *Ameghiniana*, 35(1), 25-32.
- Anzótegui, L.M., 2006, Paleofloras del Mioceno en los Valles Calchaquies, Noroeste de Argentina: Corrientes, Argentina, Universidad Nacional del Nordeste, tesis doctoral, 266 pp.
- Anzótegui, L.M., Cuadrado, G.A., 1996, Palinología de la Formación Palo Pintado, Mioceno superior, Provincia de Salta, República Argentina. Parte I: Taxones nuevos: *Revista Española de Micropaleontología*, 28(3), 77-92.
- Anzótegui, L.M., Horn M.Y., 2007, Adenda a la megaflore de la Formación Palo Pintado (Mioceno Superior-Plioceno) de los valles Calchaquies, en Reunión Anual de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina, Argentina: Asociación Paleontológica Argentina, 44, p. 78R.
- Anzótegui, L.M., Cristalli, P., 2000, Hojas de Malvaceae en el Neógeno de Argentina y Brasil: *Ameghiniana*, 37(2), 169-180.
- Anzótegui, L.M., Horn, M.Y., Mautino, L.R., Garralla, S.S., 2007, Diversificación de Cyperaceae en los Valles Calchaquies durante el Mioceno Medio-Plioceno: *Boletín de la Asociación Argentina de Botánica*, 42, p 117.
- Anzótegui, L.M., Horn M.Y., Adami-Rodrigues, K., 2008, Interacciones biológicas insecto-planta fósiles en las Formaciones San José (Mioceno Medio) y Palo Pintado (Mioceno Superior), noroeste de Argentina (resumen), en XII Simposio de Paleobotánicos y Palinólogos. Florianópolis (Brasil), Resúmenes, p. 5.
- Barreda, V., Anzótegui, L.M., Prieto, A.R., Aceñolaza, P., Bianchi, M.M., Borromei, A.M., Brea, M., Caccavari, M., Cuadrado, G.A., Garralla, S., Grill, S.G., Guersstein, R., Lutz, A.I., Mancini, M.V., Mautino, L.R., Ottone, E.G., Quattrocchio, M., Romero, E.J., Zamaloa, M.C., Zucol, A., 2007, Diversificación y cambios de las Angiospermas durante el Neógeno en Argentina, en Archangelisky, S., Sánchez, T., Tonni, E. (eds.), *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial 11, Ameghiniana*, 50° Aniversario, 173-191.
- Chamberlin, T.C., Salisbury, R.D., 1909, *Geology: processes and their results*: New York, Henry Holt and Co.
- Coutand, I., Carrapa, B., Deeken, A., Schmitt, A., Sobel, E., Strecker, M., 2006, Propagation of orographic barriers along an active range front: Insights from sandstone petrography and detrital apatite fission-track thermochronology in the intramontane Angastaco basin, NW Argentina: *Basin Research*, 18(1), 1-26.
- Davis, W.M., 1898, *Physical Geography*: Boston, Ginn & Company, 428 pp.
- Díaz, J.I., 1985, Análisis estratigráfico del Grupo Payogastilla, Terciario superior del valle Calchaquí, provincia de Salta, República Argentina, en 4° Congreso Geológico Chileno: Antofagasta, Actas, 211-234.
- Díaz, J.I., 1987, Estratigrafía y sedimentología del Terciario Superior de la región comprendida entre los valles de los ríos Calchaquí y Guachipas, Provincia de Salta, República Argentina: Tucumán, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán, tesis doctoral, 114 pp.
- Díaz, J.I., Malizzia, D., 1983, Estudio Geológico y sedimentológico del Terciario Superior del Valle Calchaquí (departamento de San Carlos, Salta): *Boletín Sedimentológico*, 2(1), 8-21.
- Díaz, J.I., Malizzia, D., Bossi, G., 1987, Análisis estratigráfico del Grupo Payogastilla, en Décimo Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán, Argentina, 113-116.
- Friend, P.F., Slater M.J., Williams, R.C., 1979, Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain: *Journal of the Geological Society*, 136(1), 39-46.
- Galli, C.I., Ramírez, A., Barrientos, C., Reynolds, J., Viramonte, J.G., Idleman, B., 2008, Estudio de proveniencia de los depósitos del Grupo Payogastilla (Mioceno Medio-Superior) aflorantes en el río Calchaquí, provincia de Salta, Argentina, en Congreso Geológico Argentino: Jujuy, Actas 17(1), 353-354.
- Gibling, M.R., 2006, Width and thickness of fluvial channel bodies and valley fills in the geological record: a literature compilation and classification: *Journal of Sedimentary Research*, 76(5), 731-770.
- Herbst, R., Anzótegui, L.M., Jalfin, G., 1987, Estratigrafía, paleoambientes y dos especies de *Salvinia* Adanson (Filicopsida) del Mioceno Superior de Salta, Argentina: *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura*, 7, 15-42.
- Herbst, R., Anzótegui, L.M., Esteban, G., Mautino, L.R., Morton, S.,

- Nassif, N., 2000, Síntesis paleontológica del Mioceno de los valles Calchaquíes, noroeste argentino, *en* Aceñolaza, F., Herbst, R. (eds.), *El Neógeno de Argentina: Argentina, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica*, 14, 263-288.
- Hongn, F., Seggiaro, R., 2001, Hoja Geológica 2566-III, Cachi: Provincias de Salta y Catamarca. Instituto de Geología y recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires, Boletín No. 248, 87 pp.
- Lutz, A.I., Martínez, L.C.A., 2007, Nuevo género y especie de liana del Mioceno Superior (Formación Palo Pintado), provincia de Salta, Argentina: *Ameghiniana*, 44(1), 205-213.
- Mautino, L.R., 2007, Chlorophyta de los Valles Calchaquíes (Mioceno Medio y Superior), Argentina: *Revista Española de Micropaleontología*, 39(1-2), 81-102.
- Miall, A.D., 1977, A review of the braided river depositional environment: *Earth Science Reviews*, 13(1), 1-62.
- Miall, A.D., 1985, Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits: *Earth Science Research Journal*, 22(4), 261-308.
- Miall, A.D., 1987, Recent developments in the study of fluvial facies models, *en* Ethridge F.G., Flores R. (eds.), *Recent developments in fluvial sedimentology: Tulsa, Oklahoma, Society Economic Paleontology Mineral Special Publication* 39, 1-9.
- Miall, A.D., 1988a, Reservoir heterogeneities in fluvial sandstone: lessons from outcrop studies: *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 72(6), 682-697.
- Miall, A.D., 1988b, Facies architecture in clastic sedimentary basins, *en* Kleinspehn, K., Paola, C. (eds.), *New perspectives in basin analysis: Berlin, Springer-Verlag New York*, 67-81.
- Miall, A.D., 1994, Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, UTA: *Journal of Sedimentary Research*, 64(2b), 146-158.
- Miall, A.D., 1995, Description and interpretation of fluvial deposits: a critical perspective: discussion: *Sedimentology*, 42(2), 379-384.
- Miall, A.D., 2006, The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology: Berlin, London, Springer, 581 pp.
- Morton, L.S., 1992, Bivalvos de agua dulce de la Formación Palo Pintado (Mioceno Tardío) del Valle Calchaquí, provincia de Salta, Argentina: *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura*, 9, 77-91.
- Pennington, T.D., 1981, *Meliaceae. Flora neotrópica: New York, Missouri Botanical Garden Press*, 470 pp.
- Platt, N.H., Keller, B., 1992, Distal alluvial deposits in a foreland basin setting – the Lower Freshwater Molasse (Lower Miocene), Switzerland: sedimentology, architecture and palaeosols: *Sedimentology*, 39(44), 545-565.
- Pozo, M., Casas-Sainz, J., 1995, Distribución y caracterización de litofacies en el yacimiento de arcillas magnéticas de Esquivias (Neógeno de la cuenca de Madrid): *Boletín Geológico y Minero*, 106(3), 265-282.
- Pozo, M., Casas, J., Medina, J.A., Moreno, A., Martín-Rubi, J.A., 1995a, Mineralogénesis de zeolitas en facies lacustres-palustres con arcillas magnéticas de la cuenca de Madrid: *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18(2), 7-8.
- Pozo, M., Casas, J., Moreno, A., Martín-Rubi, J.A., 1995b, Sedimentología y geoquímica de litofacies lacustres en el sector de Pinto (Cuenca de Madrid). Simposio sobre el PICG 324, *en* Congreso Español de Sedimentología 13, Comunicaciones: 159-160.
- Scasso, R.A., Limarino, C.O., 1997, Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas: Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial 1, 258 pp.
- Salfity, J.A., Monaldi, C.R., 2006, Hoja Geológica 2566-IV, Metán: Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, 319, 74 pp.
- Schumm, S.A., 1981, Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications, *en* Ethridge, F.G., Flores, R.M. (eds.), *Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for exploration: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 31, 19-29.
- Schumm, S.A., 1985, Patterns of alluvial rivers: *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 13, 5-27.
- Smith, S.A., 1990, The sedimentology and accretionary style of an ancient gravel-bed stream: the Budleigh Salterton Pebble Beds (Lower Triassic), southwest England: *Sedimentary Geology*, 67(2), 199-219.
- Starck, D., Anzótegui, L.M., 2001, The late climatic change persistence of a climatic signal through the orogenic stratigraphic record in northwestern of Argentina: *Journal South American Earth*, 14(7), 763-774.

Manuscrito recibido: Diciembre 3, 2009

Manuscrito corregido recibido: Junio 16, 2010

Manuscrito aceptado: Septiembre 13, 2010