



Geología regional de la provincia de Formosa, Argentina

Regional geology of Formosa province, Argentina

Hugo G. MARENGO^{1†}, ROBERTO C. MIRÓ^{1*}

¹ Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Crisol 155, (5000) Córdoba, Argentina.

* Autor de correspondencia: <robertomiro70@gmail.com>

El presente trabajo es dedicado al colega Dr. Hugo Marengo, fallecido en 2022 en Mendoza, como un homenaje a sus aportes al estudio de la geología del noreste de Argentina.

Resumen

La provincia de Formosa, ubicada en el sector norte de la Llanura Chaco-Paranense, abarca desde el pie oriental de las Sierras Subandinas hasta las planicies aluviales de los ríos Paraguay y Paraná, en el Este. El relleno sedimentario profundo incluye sedimentos marinos, continentales y glaciogénicos del Paleozoico provenientes del sector andino occidental. La acumulación sedimentaria, de más de 4.000 m, se distribuyó en tres depocentros, limitados por "umbrales tectónicos" situados entre las Sierras Subandinas, el Alto de El Caburé (formaciones Zapla, Copo, Caburé y Rincón), el Alto de Charata y el Alto de Asunción de Paraguay, en el extremo oriental. El único pozo que alcanzó al basamento infra-Paleozoico en Formosa fue el de Mariano Boedo que encontró a los -1.864 m un granito cámbrico. La secuencia post-cretácica de Formosa comprende sedimentos del Terciario al Pleistoceno entre los que sobresalen los sedimentos de la "ingresión Paranense", que culminó en el Mioceno superior. Por debajo de esta ingresión se encuentran los sedimentos de la ingresión de la Formación Laguna Paiva, separadas ambas por la Formación Chaco. Entre el Pleistoceno y el reciente la sedimentación en Formosa, y en todo el Gran Chaco en su significado fitogeográfico,

► Ref. bibliográfica: Marengo, H. G.; Miró, R. C. 2025. "Geología regional de la provincia de Formosa, Argentina". *Acta Geológica Lilloana* 36 (1): 99-131. doi: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2002>

► Recibido: 29 de agosto 2024 – Aceptado: 22 de abril 2025

► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.



incluyó sedimentos de origen predominantemente fluvial, intercalaciones eólicas y lacustres. Por encima de esta columna se formaron grandes abanicos aluviales de sedimentos rojos, que contienen fósiles del Pleistoceno, descubiertos en las barrancas actuales de los ríos Pilcomayo y Bermejo, en la que consideramos se trata de la sección superior de los antiguos abanicos.

Palabras clave: Depocentros con sedimentación paleozoica. Abanicos aluviales pleistocenos.

Abstract

The province of Formosa, in the northern sector of the Chaco-Paranaense basin, extends from the Eastern foothills of the Subandean System to its base level in the alluvial plains of the Paraguay and Paraná rivers. The sedimentary section of Formosa contains Paleozoic sediments of marine, continental and glaciogenic provenance, originated in the Andean foothills, distributed in three main basins or "depocenters", bounded by "tectonic thresholds", between the Sierras Subandinas and the Caburé High (including Zapla, Copo, Caburé and Rincón formations), Charata (or Las Breñas) and the Asunción High in Paraguay. The Mariano Boedo exploration well was the only one, in Formosa, that reached a Cambrian granite at -1864m., below the sedimentary pile. Post-Cretaceous sequences in Formosa are filled of Tertiary and Pleistocene sediments, among which the sediments of the "Paranaense ingression" stand out, culminated during the Upper Miocene. Before this marine ingression occurred that one of the Laguna Paiva Formation (Upper Oligocene – "Chattiano?"). The Chaco Formation is interspersed between both ingressions. The modern sedimentary sequence of the geology of Formosa, between Pleistocene to recent, extended throughout the Gran Chaco, in its phytogeographical significance, including sediments of large alluvial fans of fluvial origin, with aeolian and lacustrine intercalations, originated in the eastern Andean sector. The red sediments of the fans, containing Pleistocene fossils, are actually found at the base of the ravines of the Pilcomayo and Bermejo rivers, and are interpreted as corresponding to the upper section of the Old Pilcomayo and Bermejo Fans.

Keywords: Three depocenters with Paleozoic sequences. Large Pleistocene alluvial fans.

GEOLOGÍA GENERAL

La provincia de Formosa se ubica en sector norte de la Llanura Chaqueña de Argentina, que nace en el pie oriental de las Sierras Subandinas (Ramos, 1999) y se extiende por unos 500 km hacia el Este, hasta alcanzar su nivel de base en las planicies aluviales de los ríos Paraguay y Paraná.

Los primeros antecedentes geológicos sobre la provincia de Formosa corresponden a Frenguelli (1920) y Tapia (1935) quienes realizaron una descripción de la geomorfología, los sistemas hídricos y ambientes generales de la región chaqueña. Posteriormente Groeber (1957) aportó una base de la geología regional de la provincia, con una mayor referencia a las unidades del subsuelo. La exploración de hidrocarburos realizada por YPF en la década de 1960 generó abundante información sobre la estratigrafía y estructura de las unidades sedimentarias del subsuelo de la provincia. Los estudios fueron acompañados por perforaciones profundas que encontraron niveles extractivos de petróleo en el sector oriental de las provincias de Jujuy y Salta, que luego se extendieron al Oeste de Formosa. El principal pozo productivo de la cuenca fue realizado por YPF en el área de Caimancito, en Jujuy, finalizado en 1969 a la profundidad de -4.010 m, con una producción inicial de 500 m³/diarios de petróleo, extraídos de la formación cretácica Yacoraite (Grosso *et al.*, 2013).

Al extenderse la exploración hacia el Este, en estructuras similares dentro de la provincia de Formosa, se alumbró el yacimiento de Palmar Largo en 1983, al Norte de General Mosconi, cuya explotación continúa en la actualidad. Los estudios de sismica produjeron información sobre la estratigrafía profunda de la región. En suma, los trabajos realizados durante la exploración petrolera aportaron datos estratigráficos y de las condiciones estructurales de los yacimientos (Mingramm *et al.*, 1979).

ESTRATIGRAFIA DEL PALEOZOICO DE FORMOSA

La secuencia sedimentaria del subsuelo de Formosa, ubicada en el sector Norte de la unidad morfoestructural de la Llanura Chacoparanense de Argentina, contiene en profundidad una espesa acumulación de sedimentos del Paleozoico, de origen marino y continental y, en menor medida, glaciogénica (Figura 1). El aporte sedimentario principal tuvo su proveniencia de las áreas positivas del sector andino, situado al Este, de Argentina y Bolivia. Se considera que fueron igualmente importantes en las secuencias paleozoicas, los aportes provenientes del Escudo Brasileiro, situado al Este y Noreste de Formosa, así como del Paraguay Oriental.

El subsuelo del área, en un perfil de Noroeste a Sudeste, transversal a la geografía de Formosa, presenta “depocentros” que están limitados por “umbrales tectónicos” o “altos estructurales” (Figura 2), reconocidos a partir de la exploración geofísica y del estudio de las secuencias estratigráficas. Los tres depocentros principales, con acumulaciones sedimentarias que fueron diferenciadas en base al estudio paleontológico y los datos geofísicos, son los siguientes (Figuras 1 y 2):

- **Sector occidental**; en el que se atravesó una secuencia de casi 4.000 m de sedimentos del Ordovícico al Devónico, con unidades cretácicas en su parte superior que contienen yacimientos de hidrocarburos (Grosso *et al.*, 2013).
- **Sector central septentrional** (Formosa, Chaco y Santiago del Estero), en el que predomina una secuencia silúrica-devónica;
- **Sector carbonífero-pérmico** (Santa Fe, Chaco, Formosa, Noroeste de Córdoba y de Santiago del Estero).

El sustrato más profundo de la llanura de Formosa se compone de rocas ígneas de composición variada, rocas básicas y metamórficas de diverso grado. Dentro de Formosa el único pozo que alcanzó al basamento infra-Paleozoico fue el de Mariano Boedo, (situado a los $26^{\circ}06'42''\text{S}$ - $58^{\circ}29'17''\text{O}$), que a los -1.864 m encontró un granito cámbrico (datado en 550 Ma; Russo *et al.*, 1979).

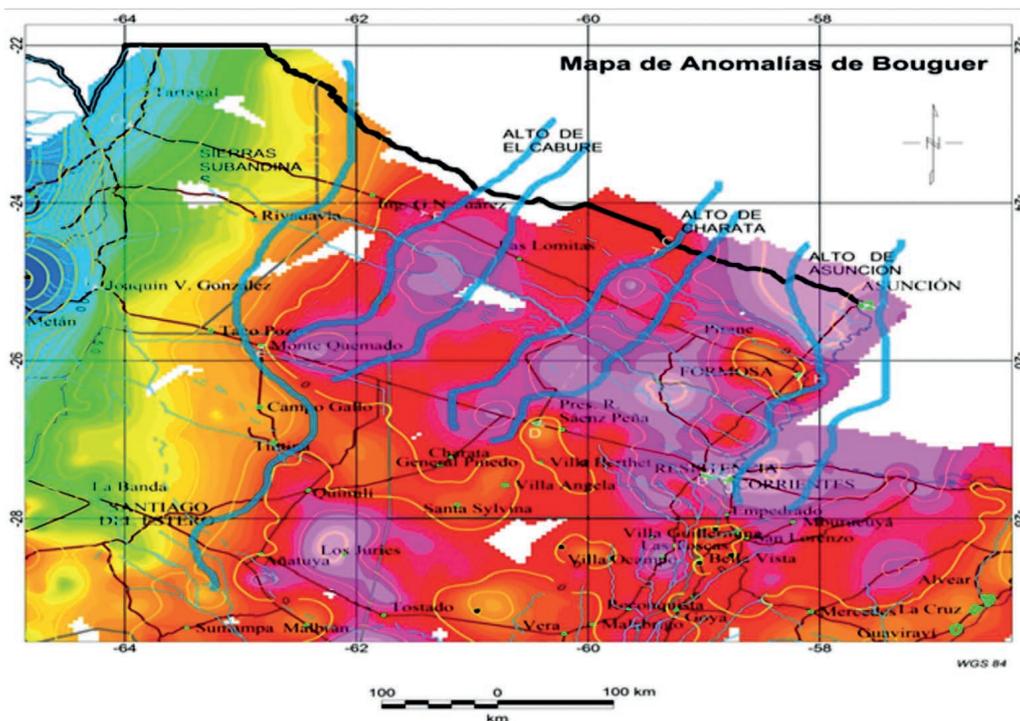


Figura 2. Mapa gravimétrico de Formosa (Datos del IGN, procesados por G. Ramé). Se observan tres altos estructurales (umbrales) que atraviesan la provincia con rumbo NO.

A través de las perforaciones profundas realizadas en la llanura Chacopampeana, en las provincias de Jujuy, Salta, Chaco y Santiago del Estero, se determinó la existencia de al menos tres ciclos sedimentarios para el Paleozoico (Russo *et al.*, 1979). El pozo más profundo fue el de Árbol Blanco (aprox. en 26°10'00"S - 62°09'00"O) situado al Noreste de Santiago del Estero, que alcanzó una profundidad final de -2.500 m, atravesando en su base 100 m de areniscas laminares, fangolíticas, calcáreas, con restos de *Skolithos*. Por encima, se encuentran los sedimentos de la formación Pirané, entre -2.408 m y -1.912 m, unidad homologada a las unidades cámbricas incluidas en el Grupo Mesón, aflorante en Jujuy, Salta y Tucumán (Mingramm *et al.*, 1979). Hacia arriba, en discordancia, se superponen 320 m, de ortocuarcitas blanquecinas y homogéneas de la formación devónica Las Breñas.

PALEOZOICO. GRUPO SANTIAGO DEL ESTERO

Padula *et al.* (1967) crearon al Grupo Santiago del Estero, interpretando que había una continuidad sedimentaria en el Paleozoico Inferior del sector occidental de la cuenca. Sin embargo, la geometría del depocentro occidental sufrió modificaciones con el transcurso del tiempo y para algunos autores la subregión septentrional de la Cuenca Chacoparanense formó parte, en algún momento, de la cuenca de Tarija de Bolivia.

Según Di Pasquo y Azcuy (1997) la cuenca de Tarija (Bolivia) situada al noroeste, habría sido en general un depocentro independiente y con escasa comunicación con la cuenca de Argentina.

El grupo Santiago del Estero se compone, de abajo hacia arriba, de las formaciones Zapla, Copo, Caburé y Rincón.

La formación Zapla, está formada por areniscas y lutitas ferríferas (aflorantes en Jujuy; Schlagenweit, 1943) y diamictitas, secuencia asignada al Paleozoico Inferior (Mingramm *et al.*, 1979). Sus espesores, reconocidos en profundidad, han sido de 70 m (Árbol Blanco, Santiago del Estero) y de 35 m en El Caburé (Santiago del Estero). En base a la microfauna que contiene se le asignó una edad wenlockiana (Silúrico Inferior, entre -427 y -433 Ma; Rubinstein, 1995). Por encima de la Formación Zapla se encuentran 550 m de sedimentos de la Formación Caburé, formada por areniscas cuarcíticas, tenaces, con intercalaciones de lutitas negras. Su base se ubica en el Emsiano (Devónico Inferior, -403 Ma), aunque para algunos autores podría extenderse al Silúrico Medio considerando su contenido de *Tasmanites sp.*

A partir del Paleozoico Medio, los umbrales tectónicos mencionados (Figura 2) acentuaron su importancia, provocando una mayor separación de los tres sectores principales de la cuenca Chacoparanense en el sentido Oeste-Este de Formosa, desde el límite occidental con el sistema Subandino, aflorante en Jujuy y Salta, hasta el río Paraná y también con cuencas vecinas.

La perforación de El Caburé, realizada al Noreste de Santiago del Estero ($26^{\circ}00'54''\text{S}$ - $62^{\circ}20'02''\text{O}$), en un sector de la cuenca situado entre el Alto de las Breñas, al Oeste, y el Alto de El Caburé al Este, o Charata, en Santiago del Estero, atravesó casi 500 m de una secuencia sedimentaria, reconocida en otros sectores de la región. La "Formación Caburé" se compone de sedimentos marinos y glaciogénicos con edades que van desde el Devónico al Missisipiano. La formación grada hacia arriba a areniscas cuarcíticas de la Formación Copo, que se compone de arcilitas piritíferas, con trilobites y braquiópodos del Devónico.

El tramo superior del Grupo, entre -871 m y -868 m, corresponde a la formación Rincón que incluye elementos autóctonos del Pennsylvaniano y formas fósiles recicladas que presentan biocrones variables, en general dentro del Carbonífero (Noetinger y Di Pasquo, 2009). La presencia conspicua de elementos reciclados del Devónico y del Carbonífero Inferior en niveles del Pennsylvaniano son comunes en la Cuenca Chacoparanense (Souza y Petri, 1998). Se han citado también de la Formación Caburé invertebrados con características similares a los observados en acumulaciones sedimentarias más antiguas de la cuenca de Tarija. La Formación Rincón (entre -407 a -387 Ma; Rubinstein, 1995) contiene además restos de microfauna de invertebrados y palinológicos del Devónico, con una edad entre Emsiano y Givetiano. La Formación Rincón es cubierta en discordancia por la Formación Sachayoj del Carbonífero (Pezzi y Mozetic, 1989). La ausencia de elementos faunísticos del Missisipiano en la subregión central, tal como fuera señalado para las regiones situadas más al norte de la misma cuenca (Souza y Petri, 1998) y en la Cuenca de Tarija, indicarían que el depocentro fue alterando su geometría con el transcurso del tiempo, de modo tal que hacia el Carbonífero-Pérmico la zona habría formado parte de la Subregión centro-septentrional de la Cuenca Chacoparanense.

Hacia el Este de la cuenca central y del Grupo Santiago del Estero, se realizó la perforación de Las Breñas ($27^{\circ}18'10''\text{S}$ - $60^{\circ}55'40''\text{O}$), situada a unos 90 km al Oeste de Resistencia, Chaco. El depocentro de Las Breñas se encuentra limitado al Este por el Arco de Paraguay que es un escalón tectónico amplio con orientación N-S, aflorante en el Oeste de Paraguay y Brasil, que contiene sedimentos silúricos, devónicos y carbonífero-pérmicos, dentro de una sucesión que abarcaría del Cámbrico al Devónico. La Formación Las Breñas posee una amplia distribución en el subsuelo de la región central de la llanura Chacopampeana.

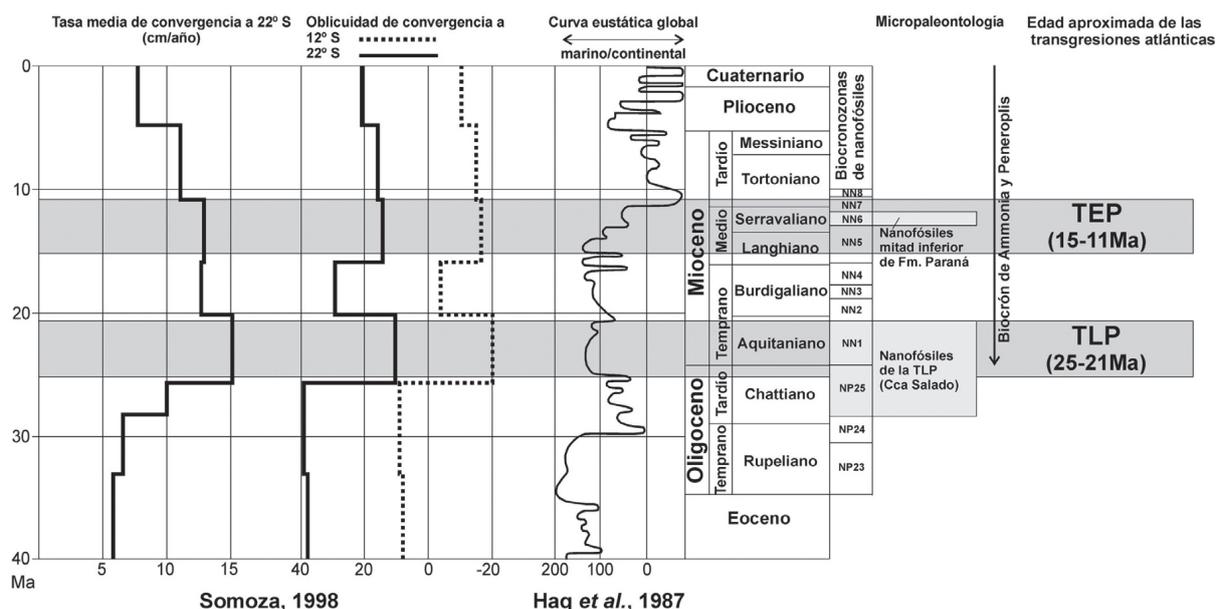
En el depocentro occidental el Paleozoico Superior está formado por sedimentos clásticos del Carbonífero-Pérmico, parcialmente diamictíticos, grisáceos, similares a depósitos aflorantes en las Sierras Australes de Ventania, en Argentina (Harrington, 1947).

Padula y Mingramm (1969) separaron a los sedimentos del Paleozoico Superior, atravesados en la cuenca occidental, en las formaciones, Sachayoj, Charata y Chacabuco. La Formación Sachayoj está formada por areniscas blanquecinas y lutitas grises, que incluyen abundantes palinomorfos del Carbonífero Superior (Gutiérrez *et al.*, 2003), en tanto que la Formación Charata, más moderna, está formada por areniscas gris verdosas y limos negruzcos con macrofósiles y palinomorfos, que alternan con escasos sedimentos glaciarios (tilitas gris verdosas), que podrían corresponder al Pérmico inferior. La sección superior contiene sedimentos clásticos del Pérmico, parcialmente diamictíticos, grisáceos, similares a depósitos aflorantes en las Sierras Australes de Argentina y en la Precordillera de San Juan. Más hacia arriba en la secuencia se encuentra la Formación Chacabuco, formada por lutitas negras y calizas.

De acuerdo con el estudio stratigráfico se han reconocido pocos depósitos triásicos en la cuenca Chacoparanense (Padula y Mingramm, 1969). Por el contrario unidades de esta edad han sido mencionados hacia el Este, en el sur de Brasil y en Uruguay. Se trata de sedimentos de ambientes continentales, de origen eólico o lacustre. Depósitos similares, aflorantes en Argentina, formados mayormente por sedimentos del Cretácico, hacen más difícil separar a las unidades del Mesozoico que aparecen en el subsuelo de Formosa, tal como han sido descritas en forma amplia y detallada en las serranías occidentales de Salta y Jujuy (Grupos Pirgua, Balbuena y Santa Bárbara) por Turner (1960) y Vilela (1969). Estas unidades contienen intercalaciones de mantos basálticos, con edades mayormente cretácicas, y se asientan en discordancia sobre unidades paleozoicas en el área serrana occidental de Argentina.

MESOZOICO DE LA CUENCA CHACOPARANENSE

En la cuenca Chacoparanense, Padula y Mingramm (1969) describieron dentro del Mesozoico a tres formaciones cubiertas por la Formación Mariano Boedo, a las que denominaron en orden descendente como Tacuarembó, San Cristobal y Serra Geral. La Formación Serra Geral, en la base de la secuencia, está compuesta por coladas basálticas que en alguna perforación alcanzan los 1.200 m de espesor con intercalaciones de areniscas y pelitas rojizas. Los basaltos de Serra Geral han sido reconocidos ampliamente en el sustrato de la cuenca Paranense, situada al Este de la cuenca Chacoparanense, con edades que varían entre -135 a -120 Ma (Cretácico Inferior). En Argentina, la perforación que se considera más representativa de la unidad se realizó en el centro de Santa Fe en la localidad de San Cristóbal (30°18'38"S - 61°14'14"O).



Cuadro 1. Ubicación relativa de la Formación Chaco (Mioceno inferior). Se puede observar que corresponden con valores bajos del nivel eustático del mar (Haq et al., 1987).

El tramo post-Cretácico de la cuenca Chacoparanense en la provincia de Formosa se encuentra cubierto por unidades del Terciario y Pleistoceno que le dan a la llanura formoseña homogeneidad en sentido Este a Oeste. Las transgresiones marinas de Laguna Paiva (TLP) y del Paranense (TEP), estarían limitadas por la Formación Chaco, según Marengo (2006).

ESTRATIGRAFIA DEL CRETACICO, TERCIARIO Y CUATERNARIO DE FORMOSA. FORMACIONES LAGUNA PAIVA Y PARANÁ

Entre fines del Oligoceno y principios del Mioceno, a partir de los -25 Ma se desarrolló la primera gran transgresión marina de amplia extensión en la llanura Chacopampeana, que abarcó a las provincias de Santa Fe, Chaco y Formosa, el oriente de Córdoba y Santiago del Estero. Los sedimentos de la transgresión fueron agrupados bajo la denominación de “Formación Laguna Paiva” (Stapenbeck, 1926; Marengo, 2006). El depocentro chaco-paranense, marino y/o litoral, estaba flanqueado por áreas serranas elevadas entre las que se destacaban al Oeste la Cordillera de los Andes y las Sierras Subandinas, y al Este las Sierras Pampeanas y las áreas cratónicas del Paraguay Oriental, sur de Brasil y Uruguay. La Mesopotamia (actual) de Argentina se encontraba en una posición geográfica y topográficamente más alta, por lo que no fue cubierta por la sedimentación marina.

La deposición de la secuencia sedimentaria habría comenzado durante el Oligoceno con la acumulación de sedimentos continentales (Cuadro 1) que se apoyaron directamente sobre las secuencias paleozoicas y, en algunos sectores, sobre basaltos cretácicos. Los niveles sedimentarios más profundos de esta última edad fueron atravesados solo por las perforaciones de exploración petrolera. Los sedimentos de la transgresión están formados por areniscas friables con frecuentes intercalaciones de yeso y pelitas verdosas, con microfósiles calcáreos (Aceñolaza, 1999; Marengo, 2000). Por encima de esta unidad se encuentran sedimentos rojizos continentales del Mioceno (con edades desde -15 Ma), con variada participación loésica, que se intercalan con sedimentos rojizos de la formación Chaco (Marengo, 2002). Por encima de los depósitos continentales miocenos se encuentran sedimentos marinos que corresponden a la **segunda ingresión marina** de amplitud regional, la “ingresión Paranense” cuya deposición habría culminado durante el Mioceno (entre -10 y -9 Ma), marcando el fin del ciclo sedimentario Mioceno. Hacia el Oeste de la transgresión, en las sierras de la región salteña y chaqueña (Marshall *et al.*, 1993), se reconoce una amplia sedimentación continental contemporánea, formada por areniscas limosas rojizas.

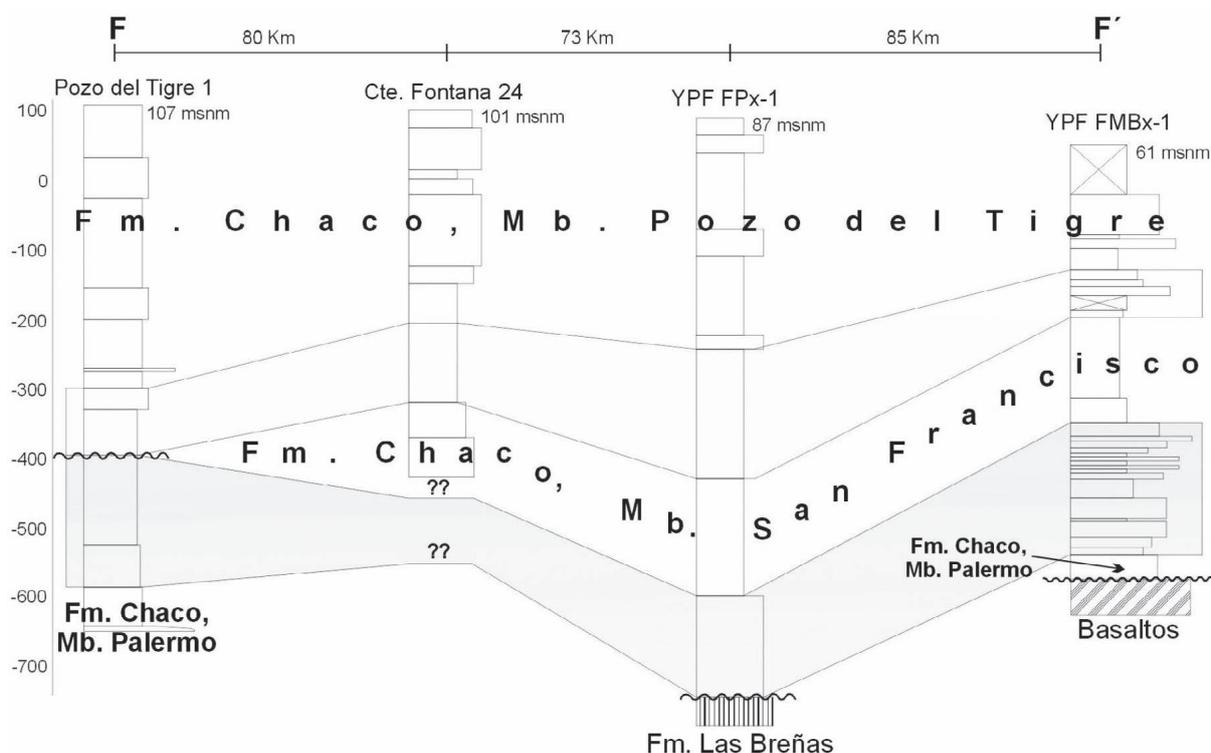
Los sedimentos de la transgresión Paranense, tal vez la más extensa de Argentina (Aceñolaza, 1999), fueron agrupados bajo la denominación de Formación Paraná por D’Orbigny (1847), quien la estudió en diferentes sectores al Oeste y Norte de la ciudad de Paraná (Entre Ríos). Posteriormente numerosos investigadores ampliaron esta descripción (D’Orbigny, 1847; Ameghino, 1906; Camacho, 1967; Aceñolaza y Aceñolaza, 1999, entre otros), quienes hicieron referencia a sus aspectos fosilíferos (macro y micro), de restos vegetales, contenido mineral, tectónica y paleogeografía.

El holotipo de la unidad fue descripto por D’Orbigny (1847) al Oeste de la ciudad de Paraná, en un tramo de barrancas del río Paraná, entre las localidades de Puerto La Santiagueña y el arroyo Antoñico. El nombre del piso y del evento transgresivo, desde un punto de vista regional, es comúnmente referido como “Entrerriense o Paranense”. La unidad fue reconocida abarcando una extensión tan amplia que ha sido mencionada en el subsuelo de Paraguay, al Norte de Argentina, hasta las márgenes del río Salado, en la provincia de Buenos Aires, y homologada a depósitos marinos de la misma edad encontrados en Patagonia. El espesor máximo, de acuerdo con datos de perforaciones, podría alcanzar los 170 m, atravesados en las provincias de Entre Ríos y de Buenos Aires. En perforaciones realizadas mar adentro, en el sector oriental de la Cuenca del Salado (Buenos Aires), se han descriptos espesores de casi 1.000 m (Formación Barranca Final; Malumian *et al.*, 1998). Por encima de la Formación Paraná se encuentran niveles arenosos cuarcíticos, que contienen abundante agua subterránea potable, explotados en las provincias de Santa Fe y Buenos Aires. Estos niveles arenosos han recibido en conjunto el nombre de “Arenas Puelches”. La base de la Formación Paraná estaría formada por una superficie erosionada de areniscas

arcillosas pardo rojizas a violáceas reconocidas con el nombre de Formación Fray Bentos (u Olivos) que se asignan al Mioceno medio e inferior. El techo de la Formación Paraná correspondería con las areniscas cuarcíticas de la Formación Ituzaingó (Herbst, 1971), atribuidas al Plioceno *s.l.*

La Formación Paraná fue dividida por D'Orbigny (1847) en dos secciones. La **sección inferior**, verde azulada, está conformada por sedimentos arenosos, arciliticos finos y la **sección superior**, verde claro a grisácea, por areniscas carbonáticas con abundantes restos de microfósiles, entre los que sobresalen bancos conspicuos de *Ostrea patagónica*. El ambiente de deposición de la unidad ha sido referido como litoral, marino y/o costero, de escasa profundidad. Es de notar que existen frecuentes deformaciones tectónicas entre los diferentes perfiles estudiados que provocan la repetición y engrosamiento de las secciones expuestas (Aceñolaza, 1999). En base a un estudio de la microfauna calcárea, Marengo (2006) caracterizó a los sedimentos no-marinos que se intercalan entre ambas transgresiones (la del Entrerriense y la existente en el nivel inferior al Mioceno) como Formación Chaco, tal como se grafica en el Cuadro 2. Es de notar que esta simplificación comprende a unidades tiempo-tansgresivas y por consiguiente su definición solo tuvo el objeto de simplificar el esquema estratigráfico regional utilizado en la exploración hidrogeológica. Un criterio similar fue usado con frecuencia en la descripción de los pozos de exploración petrolera de YPF. Según Rubinstein (2000) el término "Chaco", como nombre estratigráfico fue introducido en la literatura especializada por Schlagintweit (1943), quien aludió al "Grupo Chaco" para tratar espesas acumulaciones terciarias continentales de la Cordillera Oriental Argentina. De acuerdo con este criterio y con información procedente del subsuelo del Chaco salteño más septentrional, Mingramm *et al.* (1979) mencionaron a la Formación Chaco para aludir a "sucesiones continentales eocenas-pliocenas. Según los autores, el nombre es habitualmente utilizado en los informes internos de YPF para referirse a las areniscas y pelitas, de colores rojizos y morados, comprendidas entre las Formaciones Mariano Boedo y Paraná y, cuándo esta última está ausente, entre las Formaciones Mariano Boedo y Pampa. La denominación de Formación Chaco se utiliza con frecuencia y se le reconoce igual posición estratigráfica relativa que la otorgada en los gráficos de correlación presentados por Marengo (2006, Cuadro 2), quien sugirió que podría establecerse como estrato tipo a alguna de las secciones atravesadas en los pozos perforados en la provincia de Chaco por YPF tales como: El Desierto 1, Gancedo 1, Charata 1 o Las Breñas. Un concepto definitorio más restringido, indicaría que la Formación Chaco reúne al conjunto de acumulaciones continentales terciarias chacoparanenses, comprendidas entre las sedimentitas marinas someras y/o litorales, infrapuestas, con edades paleocenas (Formación Mariano Boedo, Mingramm *et al.*, 1979) y las sedimentitas de los depósitos pre-miocenos, también marinos someros y litorales (de la Formación Laguna Paiva). Tal posición estratigráfica ubicaría a la Formación Chaco en el intervalo Eoceno-Mioceno, siguiendo un criterio

amplio. La unidad ha sido correlacionada con algunas de las formaciones continentales siguientes en Argentina: limo rojizo semejante al Pampeano (Herbst, 1971); Tosca Parda Pre-pampeana, Frenguelli (1920), entre otros. La variedad de nombres para la que sería en definitiva una misma unidad, con límites imprecisos, impide fijar una posición estratigráfica precisa a la formación, no siendo el objeto de este trabajo. Siempre refiriéndonos a la Formación Chaco, Russo *et al.* (1979), agregaron que “...los mayores espesores de la unidad, variables entre 300 y 350 m, se localizan en los pozos perforados en el sector profundo de la cuenca Chacoparanense, al Noroeste de Santa Fe, (Ceres, Coronel Rico, San Cristóbal, etc.). Esos valores aumentan, de 420 y 430 m en los sitios donde no se ha atravesado a la Formación Paraná, como sucede más al Norte, en las perforaciones de Las Breñas y Charata, en la provincia de Chaco, respectivamente.



■ **Cuadro 2.** Posición estratigráfica de la Formación Chaco, según Marengo (2006).

En efecto, en el subsuelo occidental chaqueño, inmediatamente por arriba de la Formación Chaco, faltan las secuencias marinas someras miocenas del “mar paranense”, por lo que los depósitos continentales, de filiación “pampeana”, se apoyan directamente sobre la Formación Chaco. Para esta comarca, algunos espesores de la Formación Chaco son: YPF-El Desierto: 45 m, de 105 a 150 mbbp; YPF-Gancedo 1: 340 m, de 125 a 465 mbbp; YPF-Charata 1: 450 m, de 220 a 670 mbbp; YPF-Las Breñas 2: 502 m.

Por tal motivo las sedimentitas marinas y litorales, propias de la Formación Paraná, podrían estar reemplazadas lateralmente por acumulaciones continentales de la misma edad, pero de la Formación Chaco. Desde el punto de vista litoestratigráfico, en algunas localidades, tales depósitos clásticos continentales, pertenecientes a “tiempos paranenses”, fueron considerados como secciones superiores de la Formación Chaco (Miembro Pozo del Tigre, según Marengo, 2006, Cuadro 1), la cual alcanzaría así edades pliocenas, en clara relación de diacronismo. Tal vinculación entre las Formaciones Chaco y Paraná también fue sugerida en correlaciones gráficas propuestas por Padula y Mingramm (1969).

En la perforación de Pozo del Tigre (24°54'00”S - 60°19'00”O), realizada en el sector central de la provincia de Formosa, los niveles marinos de la primera y segunda transgresión, aparecen en contacto, aunque en discordancia, separados por una superficie erosiva, relacionada posiblemente con movimientos de ascenso de la cuenca. Sobre los depósitos marinos miocenos, o intercalados entre ellos, se encuentran arenas fluviales que aparecen en la mayor parte de la cuenca. Estas arenas, mencionadas como “Arenas Puelches”, han sido asignadas al Plioceno *s.l.* La Formación Ituzaingó (Herbst, 1971), aflorante en Corrientes representa a los niveles inferiores de las Arenas Puelches y, por el momento, no fue hallada en el interior de Formosa. Solo se han reconocido en afloramientos de sedimentos encontrados más al Este, en la isla del Cerrito, al Este de Chaco y Oeste del Paraguay (Herbst y Santa Cruz, 1985).

La información del subsuelo de Formosa, conocida a través de pozos de exploración petrolera, solo nos permite hacer interpretaciones amplias de las sucesiones generales entre los depósitos marinos y las intercalaciones con sedimentos de origen continental.

Las observaciones de campo realizadas nos indican que por encima de la parte superior de los sedimentos pardo rojizos de la formación Chaco, se produjo la sedimentación de los grandes abanicos aluviales de los ríos Bermejo y Pilcomayo, en coincidencia con el ascenso de las Sierras Subandinas, durante la última fase de la orogenia Andina (Iriando, 1991, Thalmeier *et al.*, 2019). De acuerdo con las evidencias observadas en las perforaciones de exploración hidrogeológica realizadas en Salta y el Oeste de Formosa, podemos suponer que pudo haber una interdigitación entre los depósitos iniciales de los primitivos abanicos aluviales y los depósitos más modernos de la formación Chaco.

La regresión de la Formación Paraná, que se habría producido a partir de los -10 Ma, fue formando hacia el Este una cuña de los sedimentos marinos o litorales que disminuyó desde 400 m en Pozo del Tigre (90 km al Oeste de Formosa), hasta menos de 200 m en la perforación de Mariano Boedo, situada a unos 30 km al Oeste de la ciudad de Formosa. A su vez los depósitos de los antiguos abanicos habrían extendido su avance sedimentario hacia el Este, cubriendo la sedimentación marina, hasta alcanzar su nivel de base en el río Paraguay.

UNIDADES GEOLÓGICAS DEL PLEISTOCENO DE FORMOSA

Las etapas de la evolución más moderna de la geología de Formosa se extendieron a toda la región del Gran Chaco, en su significado fitogeográfico (Oyarzabal *et al.*, 2018). La secuencia comprende sedimentos del Pleistoceno, Holoceno y Reciente, de origen predominantemente fluvial, con intercalaciones eólicas y lacustres, provenientes de la erosión a que fue sometido el frente del levantamiento andino situado al Oeste. Teniendo en cuenta las observaciones de campo realizadas los depósitos que representan a las unidades geológicas del Pleistoceno al Reciente en Formosa serían, de más viejas a más jóvenes:

Pleistoceno inferior a medio.— Inicio de la formación de los depósitos sedimentarios de los grandes abanicos fluviales del Pilcomayo y Bermejo, en coincidencia con el ascenso final de las sierras Subandinas de Bolivia y Salta. El abanico del río Pilcomayo habría tenido en su inicio una superficie total de aproximadamente 210.000 km² (Iriondo, 1980, Thalmeier *et al.*, 2019). Su ápice se encontraba al Oeste de la provincia de Formosa, en la zona serrana subandina de Bolivia, a unos 4.000 m de altura, con un eje medio central de unos 600 km de longitud. El abanico se formó como un típico cuerpo sedimentario de pie de sierra, cuya principal alimentación, hídrica y sedimentaria, se produjo a partir del ambiente serrano, careciendo de aportes hídricos de importancia en el resto de su extensión. La sección superior del abanico sería una superficie de erosión de la que no sabemos qué espesor ha sido removido, aunque sería inferior a 10 m. El espesor máximo del abanico ha sido calculado en unos 120 m y se lo ubicaría en la zona de quiebre de pendiente del cuerpo sedimentario, algo al Este de los 62°O. Durante la evolución del antiguo abanico los cauces primitivos que formaron parte del sistema de su escurrimiento fueron colmatados por sedimentos arenosos y se desplazaron lateralmente formando nuevas redes de drenaje. Los cursos abandonados dieron lugar a una red de paleocauces que podemos observar hoy en la superficie del abanico. Cordini (1947) propuso como hipótesis del origen de este enjambre de cauces, una alternancia entre períodos hídricos de caudales medios normales, con otros de caudales extraordinarios que superaban al régimen medio. Esta alternancia de la descarga hídrica se habría asociado con una variación natural de la carga sólida que en definitiva fue el factor dinámico generador del desplazamiento de los cauces. Se trataría de un “proceso encadenado” que comenzaría con la acumulación por deposición en algún punto del río de grandes cantidades de materia vegetal (troncos, ramas y árboles) arrastradas en épocas de crecientes extraordinarias. Simultáneamente se producía con las crecidas un aumento de la carga sólida del río la cual era sedimentada en las zonas de acumulación previa de la carga vegetal. Esta sobrecarga habría formado un “tapón” que provocaría posteriormente un desplazamiento lateral de la corriente principal del río por avulsionamiento, fenómeno característico de

los ríos Pilcomayo y Bermejo que se produce actualmente, pero en menor escala. Por consiguiente, se considera que dichos desplazamientos por taponamientos, producidos por la propia carga de los ríos, es un evento que puede ser observado aún en el presente.

Holoceno inferior.— Los antiguos paleocauces actualmente aparecen cubiertos por sedimentos eólicos o fluviales más modernos. Depósitos sedimentarios, fluviales y eólicos, que corresponden a la descarga de los excesos hídricos de los cauces primitivos del sistema de Grandes Abanicos Antiguos y posterior formación de paleocauces.

Holoceno inferior a medio.— Campos de dunas (situados en diferentes lugares de Formosa). Con posterioridad a la etapa de formación de los grandes abanicos se instala una época seca, contemporánea probablemente con el “Último Máximo Glacial”, (Pequeña Edad de Hielo o Mínimo de Maunder, ocurrida entre -1715 y -1645 AP), que provocó la diseminación de depósitos eólicos provenientes de la sedimentación limo-arenosa acumulada por el sistema fluvial de abanicos. En Formosa estos depósitos fueron agrupados como “Formación Las Lomitas” por Baumann *et al.* (2002) en la descripción de la Hoja Geológica Las Lomitas. Serían equivalentes a la Formación Tezanos Pinto (loes pampeano) reconocida en la sección superior de la llanura santafecina por Iriondo (1980).

Holoceno medio a superior.— Depósitos recientes del sistema fluvial del sector oriental de Formosa que podrían homologarse a la Formación Fidelidad, Iriondo (1980).

DEPOSITOS ARENOSOS. SALTO PALMAR Y ESTERO PATIÑO

Hacia el Norte de la región media del actual río Pilcomayo, en Paraguay, se depositó un cuerpo arenoso de grandes dimensiones que se extendía por unos 130 km en sentido N-S y por 50 km en sentido O-E (Figura 3). El cuerpo arenoso recibía la descarga principal del abanico del Pilcomayo, formando en Paraguay un área inundable de esteros que recibió el nombre de Estero Patiño. En una etapa más moderna el estero se fue colmatando y permitió la conexión hídrica entre el abanico y su nuevo nivel de base, el río Paraguay.

Iriondo (1987) propuso como una alternativa al proceso geomórfico, que el Estero Patiño se habría originado después de la formación de un escalón tectónico, ocurrido en la parte media del cauce principal del Pilcomayo, que interrumpió el flujo del río hacia el sureste, provocando una zona de derrames hacia el sur, sobre su margen derecha, en la provincia de Formosa. Este desnivel fue mencionado por Cordini (1947) como Salto Palmar.

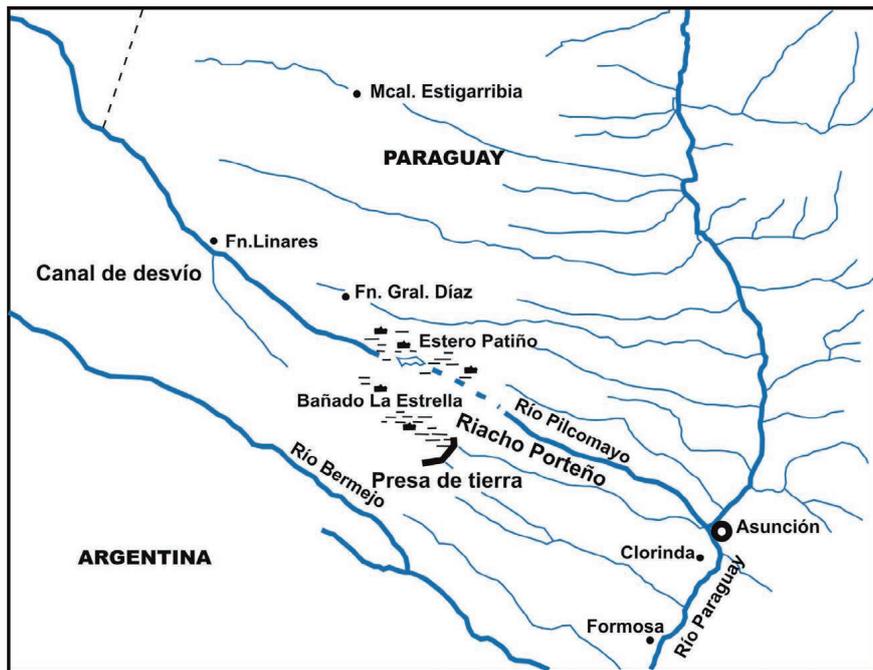


Figura 3. Mapa que muestra donde se encontraba el Estero Patiño en Paraguay (Salum Flecha, 1938), al norte del río Pilcomayo actual.

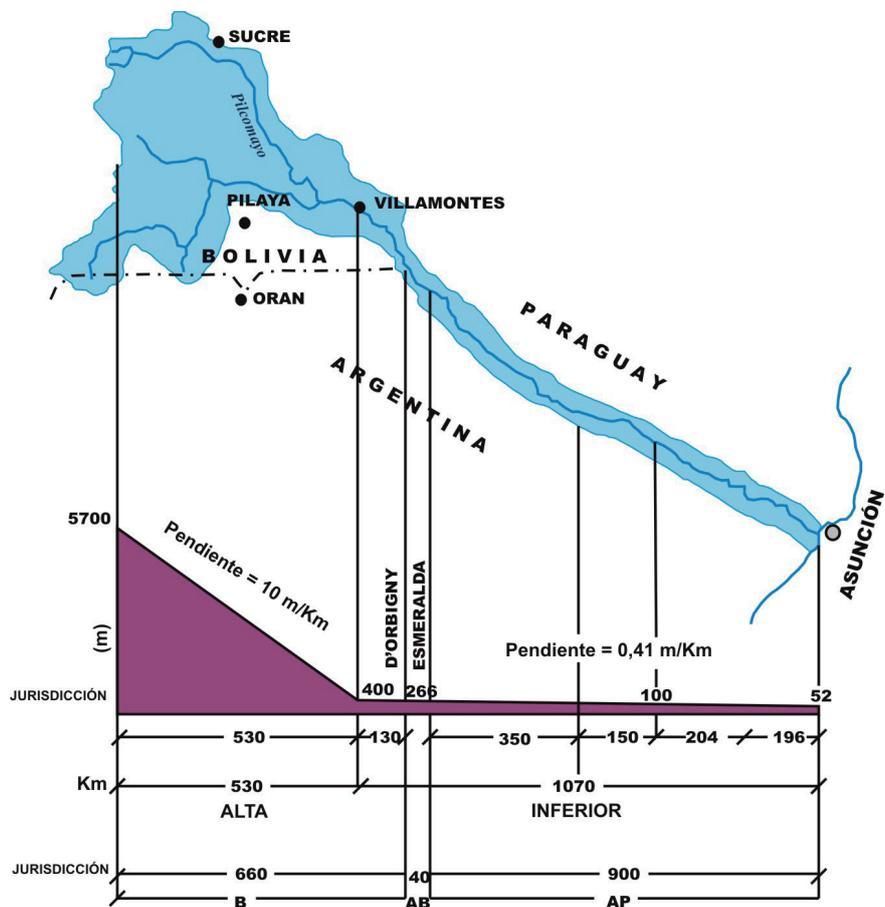


Figura 4. Perfil hidrométrico del río Pilcomayo, tomado de Lagranja (2001).

El Salto Palmar consiste en un desnivel de mediana magnitud situado en el curso medio del antiguo río Pilcomayo, en Paraguay. Del Salto Palmar ($24^{\circ}22'50''\text{S}$ - $59^{\circ}27'37''\text{O}$), que correspondería con la sección media del abanico del Pilcomayo (Figura 4), solo es visible actualmente una porción erosionada en las márgenes del río Pilcomayo.

El salto del cauce del río fue descrito por primera vez por Cordini (1947), cuando aún estaba activo (Figura 5). El antiguo perfil solo es visible actualmente en épocas de cauce muy bajo, en los meses de agosto a noviembre. Según dicho autor el perfil vertical del salto tenía dos secciones. La superior, con un espesor que alcanzaba a 1,80 m, consistente en sedimentos arenosos, poco limosos, color gris claro, con frecuentes intercalaciones de arcilla parda verdosa y delgados niveles de ceniza gris blanquecina, con estratificación fina poco marcada. La sección inferior, que alcanzaba hasta 5 metros, estaba expuesta como una barranca en la que afloraban limos arcillosos pardos rojizos, masivos, con intercalaciones cineríticas.

Los brazos fluviales que desaguaban al Estero Patiño en Paraguay, son los riachos Sombrero Negro, Media Luna, San Andrés, Bajo Hondo, Insrán, Confuso, Navagán y Lagadik.



Figura 5. Aspecto del Salto Palmar al final de la época de aguas altas, el 1° de junio de 1943. Fotografía tomada de Cordini (1947). Vista al noroeste.

LITOLOGÍA DE LOS ABANICOS

Según Cordini (1947) el inicio de la sedimentación del abanico del Pilcomayo habría coincidido con la formación de un relieve positivo en la zona subandina occidental de Argentina y Bolivia, formado por las unidades plegadas, y luego fracturadas, del Cretácico y Terciario. En el área central de Formosa se depositó una sección areniscosa, denominada como “formación Salto Palmar”. Baumann *et al.* (2002), efectuaron una datación por termoluminiscencia de los sedimentos, con valores que van desde 40.000 a 22.000 años AP (aproximadamente del Pleistoceno superior *s.l.*). Esta edad coincidiría con el final del Plioceno o inicio del Mioceno (aprox. entre -10 y -12 Ma). La sección descrita corresponde al techo de la unidad y habría sido decapitada o cubierta por colmatación por la sedimentación holocena del sistema fluvial actual.

Un perfil litológicamente similar puede observarse varios km al suroeste, en las barrancas de las canteras viales abiertas durante la ejecución de la ruta Nacional 81 (Figura 6).



Figura 6. Cantera vial adyacente a la Ruta Nacional 81, ubicada junto a la ruta 81. En la parte superior hay una sección de 70 cm de arena fina limosa pardo rojizo, con estratificación subhorizontal, poco marcada, En la parte inferior hay 3 metros de limos algo loésicos, masivos, con un suelo poco desarrollado.

DEPOSITOS DEL ANTIGUO ABANICO ALUVIAL DEL RÍO BERMEJO

El antiguo abanico del Bermejo se habría desarrollado contemporáneamente con los abanicos de los ríos Pilcomayo, Teuco, Juramento y Salado, de norte a sur, aunque con una mayor carga sedimentaria (Thalmeier *et al.*, 2019). El antiguo abanico aluvial del río Bermejo, desarrollado entre el abanico del Pilcomayo y el abanico del río Juramento, situado más al sur, poseía una extensión de aproximadamente unos 80.000 km².

El río Bermejo actual muestra en casi toda su extensión, dentro de la provincia de Formosa, que su valle ha sido labrado en el corte erosivo del antiguo abanico del mismo río. Así lo demuestra la cubierta de hasta 4 m de sedimentos arenosos de color pardo claro, holocenos y recientes, que se superponen a los limos-arenosos pardo-rojizos característicos de la sedimentación del antiguo abanico. Los perfiles más completos del abanico y la sedimentación posterior pueden observarse en las barrancas de los ríos Teuco y Bermejo, en el límite con Salta, desde su transición entre dicha provincia y la de Formosa (al Este del meridiano de 62°20'S), hasta su desembocadura en el río Paraguay. Los sedimentos de la sección superior expuesta del Antiguo Abanico del Bermejo, de color pardo rojizo claro, poseen una granulometría uniforme que varía entre limos medianos arenosos finos (mediana de 45 micrones) a limos gruesos arenosos (mediana de 30 micrones). La estratificación es masiva, aunque puede observarse en detalle una alternancia de capas con menor o mayor contenido arenoso que coincide con tonos más rojizos del perfil. Es común que el nivel del río, en su curso más estable, coincida con una capa de mayor cementación, algo más limosa, que muestra diaclasas ortogonales. El cauce medio del río Bermejo, antes de su desembocadura en el río Paraná, se desarrolla entre barrancas bien consolidadas en las que se acumulan frecuentes depósitos de arena en ambas márgenes. Al Este de El Colorado, el cauce tiene una sección bien definida de rumbo 140°, con un ancho máximo de 320 m en la que los meandros son muy abiertos, aumentando la sinuosidad notablemente a unos 50 km antes de la desembocadura en el río Paraguay, donde tiene un ancho de unos 200 m.

FÓSILES DEL ABANICO DEL RÍO BERMEJO

Los sedimentos rojos que se encuentran en la base de las barrancas del cauce actual del río Bermejo corresponderían a la sección superior del Antiguo Abanico. Zurita *et al.* (2009) describieron fósiles extraídos de un afloramiento de esta sección ubicada a unos 12 km al Sudeste de Villa Escolar (Figura 7).

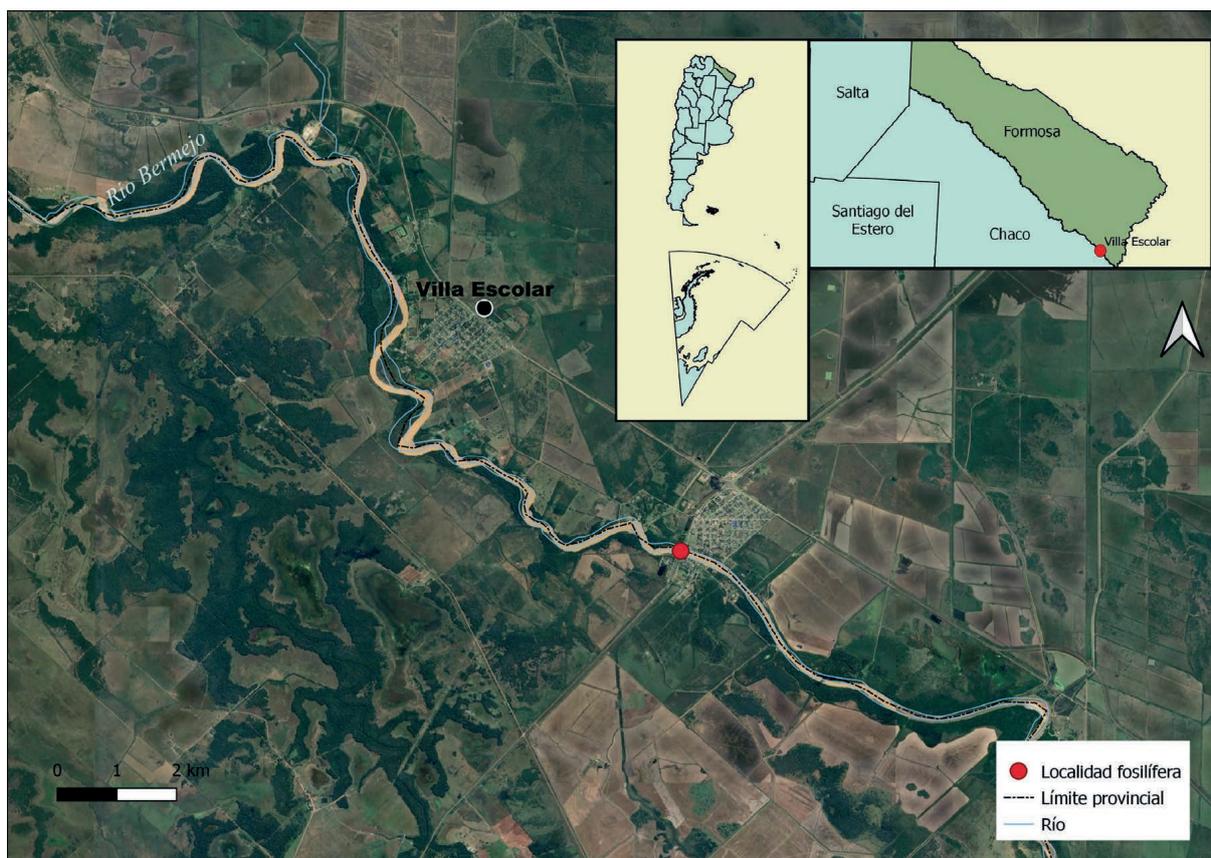


Figura 7. Ubicación de la localidad descrita por Zurita *et al.* (2009) sobre la margen izquierda del río Bermejo, al SE de Villa Escolar.

El hallazgo paleontológico se encuentra al Este del puente sobre el río Bermejo, en el cruce con la ruta 11 ($26^{\circ}39'40''\text{S}$ - $58^{\circ}38'18''\text{O}$). Entre las especies clasificadas se encuentran gliptodontes del género *Glyptodón*, *Neosclerocalyptus*, armadillos gigantes como el *Pampatherium*, *Toxodontes*, *Megatherium*, además de cérvidos y camélidos, característicos del Pleistoceno superior, que no se extienden al Holoceno. Los fósiles se exponen en el museo de Villa Escolar. En coincidencia, estudios paleobotánicos, de la misma sección del perfil, indicaron que los sedimentos corresponden a depósitos pleistocenos (Lutz, 1979). Con el objeto de comparar esta secuencia se realizaron diversos perfiles de las barrancas de margen izquierda del río Bermejo hasta el límite Oeste de la provincia de Formosa. Se observó la presencia constante de sedimentos pardo rojizos, de igual composición, en la base de las barrancas del río Bermejo al nivel del cauce activo, que se atribuyeron a la sección superior del Antiguo Abanico del Bermejo, similar a la descrita en Villa Escolar. En un perfil estudiado en las barrancas del río Bermejo, en su margen izquierda, al suroeste de Ingeniero Juárez, (punto de observación 23, situado en $24^{\circ}36'56''\text{S}$ - $61^{\circ}24'49''\text{O}$) se encontraron restos carbonosos en arenas fluviales que se superponen a los niveles pardos rojizos del Antiguo Abanico (Figura 8).



Figura 8. A. Sedimentos arenosos fluviales pardo claros con restos carbonosos. Perfil de la barranca del río Bermejo (margen izquierda) al suroeste de Ingeniero Juárez. B. En la base, arena limosa pardo rojiza, estratificada, semi-consolidada, asignada al Antiguo Abanico del Bermejo.

Los restos carbonosos fueron datados mediante C14 (Laboratorio geocronológico de la Universidad Fluminense de Rio de Janeiro) habiendo dado una edad de 11.000 años (± 600) lo que confirmaría que la sección superior pertenece al Holoceno. La semejanza entre las edades de ambos perfiles, (punto 23 y perfil de El Colorado), separados por una distancia de más de 300 km, que corresponden a secuencias de ambientes similares ordenados según la transición climática reconocida para ambos períodos (Pleistoceno al Holoceno), indicaría que la etapa final del abanico, hasta su extinción, estaría relacionada a una evolución climática, de un clima semiárido a uno más lluvioso, tal como fuera descrito por Iriondo (1991) en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos.

UNIDADES DEL HOLOCENO Y RECIENTE DEL RÍO PILCOMAYO

Entre los $62^{\circ}20''\text{O}$ hasta aproximadamente los 61°O , dentro de la provincia de Formosa, existen numerosos cauces sin escurrimiento hídrico, colmatados con sedimentos, los que se describen en general como “paleocauces”. En nuestra opinión representan parte del sistema de antiguos cauces que evacuaban el escurrimiento superficial del Antiguo Abanico de los ríos Pilcomayo y Bermejo. La disminución del caudal de escurrimiento habría provocado que aquellos cauces quedaran inactivos y se fueran colmatando progresivamente por una sedimentación eólica o por sedimentos provenientes de aportes locales que escurrían a los cauces, pero que habrían interrumpido su continuidad dentro de una red de drenaje integrada.

Algunos de estos paleocauces han sido ocupados por cuerpos de agua permanente o semipermanentes, formando esteros o lagunas, constituyendo reservorios de agua subterránea de escasa capacidad, usados con frecuencia para la subsistencia de la hacienda. Los paleocauces no sobresalen del relieve de la llanura circundante y solo son reconocidos por contener una vegetación de pastizales debido a su mayor retención de humedad. Su espesor no supera la base del antiguo cauce que no suele estar a más de 15 m. Baumann *et al.* (2002) informaron de espesores de paleocauces de hasta 10 m en la localidad de Las Lomitas. En el mismo trabajo, Baumann *et al.* (2002) mencionan el resultado de un estudio geocronológico (por termoluminiscencia) de una muestra de arena extraída del relleno de un paleocauce situado Oeste de Clorinda, que dio en promedio una edad de 12.000 años ($\pm 0,8$ y $\pm 2,2$ ka). Los contrastes de edad se deberían, en nuestra opinión, al proceso de sedimentación de la colmatación de los paleocauces en la que se mezclan sedimentos antiguos retransportados con otros más modernos. Las edades indican que la colmatación de los paleocauces, se habría producido en la etapa final de la formación de los antiguos abanicos o sea a partir del Holoceno medio a Superior.

DEPOSITOS EÓLICOS Y SIMILARES

En varios sectores de Formosa existen acumulaciones arenosas vinculadas a geoformas de dunas. Su origen se atribuye a un período en el que existieron condiciones de aridez con predominio de la acción eólica como medio de transporte. Los vientos extrajeron parte de las acumulaciones arenosas depositadas en los cauces fluviales inactivos. Un sitio representativo de estos depósitos se encuentra en la localidad de Las Lomitas (24°42'26"S - 60°35'40"O). El nombre de la localidad refiere a la existencia de antiguos médanos de escaso relieve que sobresalían hasta 8 m por encima de la llanura aluvial circundante. El área de médanos tenía una extensión de aproximadamente 3 km², pero ha sido casi totalmente obliterada por la urbanización (Figura 9).

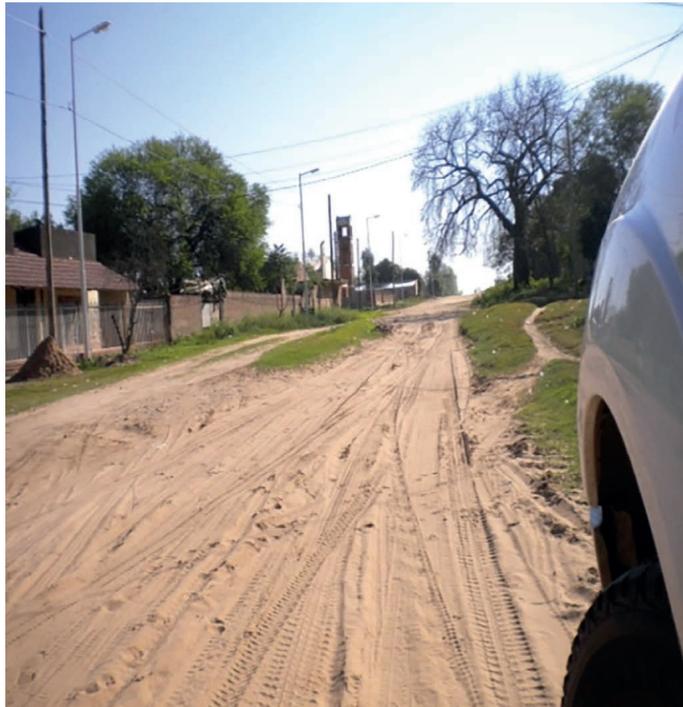


Figura 9. Loma medanosa en la localidad de Las Lomitas, rebajada por la traza urbana. Vista al NE de la avenida Meza.

DEPÓSITOS DEL RÍO PARAGUAY

El límite oriental de la provincia de Formosa coincide íntegramente con la faja fluvial del río Paraguay (Figura 10). El río Paraguay desarrolla su curso superior, y en un 60% de su cuenca de alimentación, en la junta de ríos que provienen de las cordilleras de Amambay, Mbaracayú y Caaguazú, situadas en la Región Nororiental de Paraguay, con altitudes que no superan los 850 m. El río, en el tramo desde Asunción hasta el límite sur de Formosa (Isla de Cerrito), forma una amplia faja fluvial con meandros abiertos que poseen radios entre 1 y 2,5 km, que ocupan toda la llanura aluvial activa, de unos 5 km de ancho (Figura 10). La llanura de inundación se extiende a más de 7 km cuando se duplica la descarga normal del río que es de 2.700 m³/seg. El cauce activo actual mantiene un canal navegable con una profundidad media de 6 m. Los meandros no muestran desplazamientos ni tramos abandonados.

En general observan un equilibrio con el ancho de la faja fluvial lo que indicaría que el tramo corresponde con un estado juvenil intermedio de su desarrollo, según datos numéricos obtenidos del trabajo del COBINABE (2010), “Generación y transporte de sedimentos en la cuenca binacional del río Bermejo”. El tramo inferior del río Paraguay actual se integra morfológicamente con el extremo Oeste del plano aluvial de la descarga del primitivo abanico aluvial del río Paraná. Este rasgo morfológico provoca que la mayor parte de la llanura de inundación del río Paraguay se desarrolle sobre la costa de Paraguay.

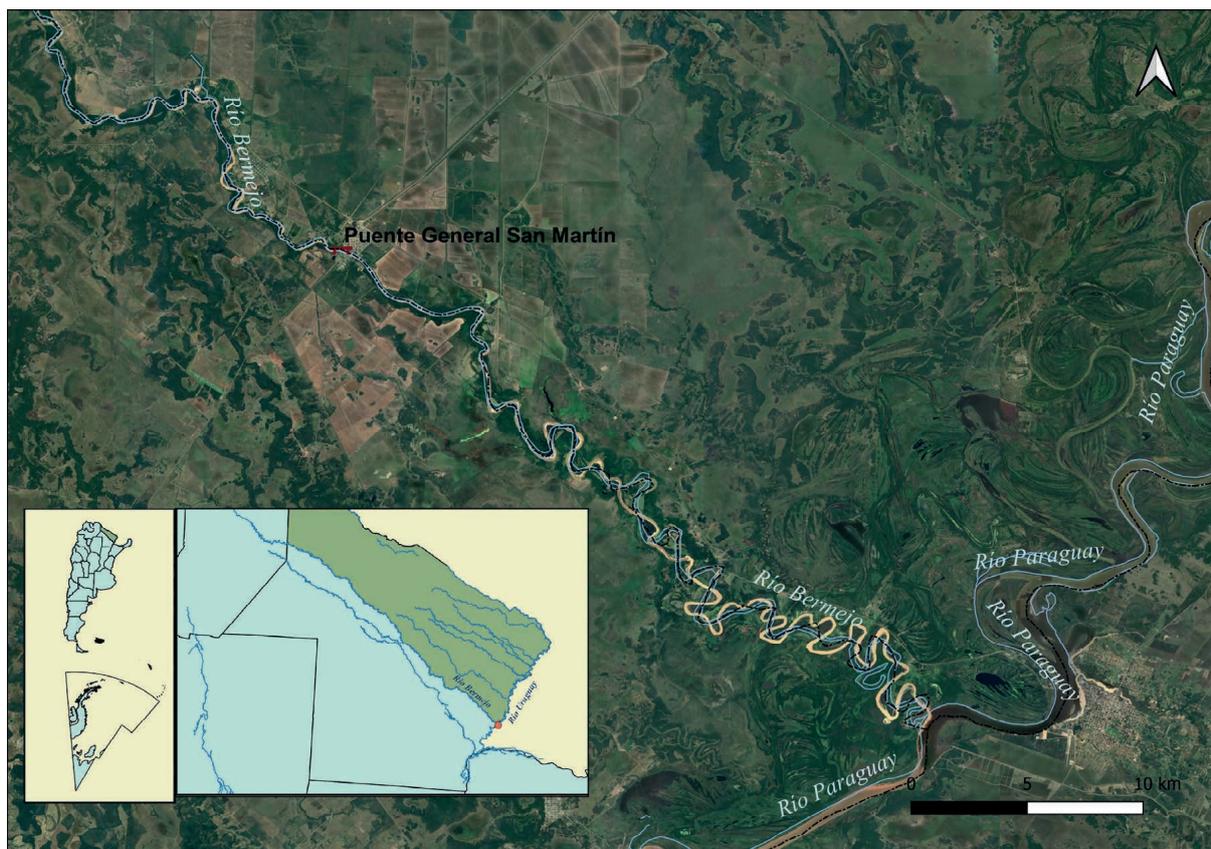


Figura 10. Confluencia de los ríos Bermejo y Paraguay en el límite Este de la provincia de Formosa.

El río Paraguay posee una importante carga sólida cuyo mayor aporte proviene del río Bermejo (más del 70% de la carga total), con el que confluye en el extremo sureste de la provincia de Formosa (Figura 10). La granulometría de los sedimentos muestra una distribución polimodal con dos máximos, uno correspondiente a la fracción limo mediano (hasta 40 micrones), originada por el aporte del Bermejo, y otro correspondiente a la fracción limo y arcilla (menor a 15 micrones), del cauce natural del Paraguay. La relación carga líquida/carga sólida oscila entre 3 y 5 según la descarga anual, lo cual significa que de la descarga líquida media anual de 2.700 m³/seg del río corresponden unos 300 kg a la carga sólida/m³ transportada. La margen derecha muestra depósitos recientes producidos por la sedimentación de crecientes del mismo río y hacia el sur, de los desbordes del Paraná. Las márgenes del río no son simétricas, aunque la traza general muestra un fuerte control estructural de dirección NE-SO. La margen derecha del río, en Formosa, muestra amplias zonas de invasión y acumulación lo que ha obligado a la construcción de un terraplén defensivo de varios kilómetros de extensión sobre la costa de la ciudad de Formosa. La llanura aluvial del río Paraguay, frente a Formosa, muestra al menos dos niveles de depósitos aterrazados con escasa diferencia de altura que se distinguen por su desnivel relativo.

La terraza más alta corresponde con las “terrazas del río Paraguay” mientras que la inferior, limitada al curso actual, coincide con la “faja de meandros del río Paraguay”. La terraza más alta se ubica a unos 8 m por encima del cauce medio actual en tanto que la terraza inferior está entre 2 a 3 m por encima del cauce medio. Los sedimentos de las terrazas están formados por arenas medianas a finas con rodados del tamaño grava dispersos, muy bien seleccionadas, que provienen probablemente de las unidades sedimentarias paleozoicas que se encuentran en la cuenca media del río Paraguay.

El **sector oriental** (Figura 1) de la provincia de Formosa muestra una característica diferente con respecto a las zonas central y occidental. En esta región se observa una abundante red hidrográfica de ríos y riachos que escurren hacia el río Paraguay. Entre el río Pilcomayo, hacia el sur hasta el río Bermejo, al que confluyen los aportes de los riachos, Negro, He-He, Chico, He-He Grande, Malvinas, Monte Lindo (Grande y Chico), Timbo Porá y Pilagá.

Los riachos tienen un curso recto o levemente sinuoso, pero a medida que se acercan a su confluencia pierden rápidamente pendiente haciéndose meandrosos, desaparecen los albardones, y se amplían las llanuras de inundación, aumentando su carga sólida. Como ejemplo, por su caudal constante, mencionamos el caso del riacho Timbó Porá, situado al Norte, que tiene un curso inferior meandroso, encajado en una llanura aluvial de casi 1.000 m de ancho. Este cambio morfológico se atribuye a que el desarrollo de los sistemas hídricos de los riachos, antes de acceder al colector principal, el río Paraguay, se ha producido en etapas diferentes, siendo más viejo el río Paraguay. Los riachos del sector oriental constituirían una red rejuvenecida a partir de un leve ascenso de la “dorsal de Avia Terai”, situada en el centro Este de Formosa, a partir de la cual se forman los riachos. Son cauces profundos, en su mayoría con albardones poco marcados en los que se desarrolla una densa vegetación. Cuando se inicia el período de precipitaciones, a fines de la primavera, se produce rápidamente su colmatación y el desborde lateral de los cauces. Otro ejemplo se observa en el riacho Pilagá, en un tramo al Este de la ruta 11 (Figura 11). En la margen izquierda del riacho se observa a la terraza más alta, con una altura de 4 m sobre el cauce actual (junio/2015) y una terraza baja que corresponde al nivel de inundación del cauce medio anual.

La terraza alta, según lo expresado por los pobladores del pueblo, no registra crecidas recientes tal como lo atestigua la construcción de viviendas (que se ven a la derecha de la figura). El riacho El Porteño, al norte del anterior, muestra en su margen derecha, en el cruce con la ruta 11, una barranca situada al nivel de la terraza más alta, en la que se pueden ver una secuencia de niveles arenosos en los que se intercalan horizontes arcillosos con suelos lixiviados, lo que indica que el desarrollo de los mismos ha sido variable en relación con las oscilaciones del nivel del cauce.



Figura 11. El riacho Pilagá, al Este de la ruta 11. Se observa en la margen izquierda un nivel de terraza alta, con una altura de 4 m sobre el cauce actual (junio/2015) y una terraza baja que corresponde al nivel de inundación medio del río.

Estos contrastes pueden vincularse con variaciones en el nivel de la confluencia de los pequeños riachos y el colector principal, el río Paraguay o con oscilaciones en su cuenca de alimentación.

ESTRUCTURA REGIONAL

La exploración sísmica permitió reconocer en el subsuelo de Formosa al menos tres elementos estructurales, mencionados como “Altos estructurales”, que delimitan a las principales cuencas sedimentarias paleozoicas, que son el Alto de El Caburé, de Las Breñas y de Asunción (Figura 2). Los altos estructurales se orientan en el subsuelo con rumbo SSE-NNO y SO-NE y marcan los límites de los depocentros de mayor profundidad, rellenos con sedimentos del Paleozoico. Los altos estructurales tenían una buena definición desde el Paleozoico Inferior y habrían actuado como límites de las cuencas en las que se depositaron espesores de más de 3.000 m de sedimentos fluviales y eólicos.

Al occidente de la provincia se encuentran las estribaciones más orientales de las Sierras Subandinas, reconocidas como Lomas de Olmedo o sector Noreste de las Sierras Subandinas (Ramos, 1999). Las estructuras cretácicas poseen lineamientos en dos sentidos principales, NO-SE y NE-SO y concentran la extracción de petróleo en las provincias de Jujuy, Salta y Formosa. Las perforaciones más profundas alcanzan hasta 3.500 m. En Formosa la mayor extracción corresponde al yacimiento de Palmar Largo.

HISTORIA GEOLÓGICA

La historia geológica de la llanura Chaco Pampeana está vinculada al antepaís andino o subandino (Chebli *et al.*, 1999). Sin embargo, existen dudas entre la correlación de los sedimentos de la cuenca Chacoparanense y las unidades sedimentarias de Jujuy y Salta.

Los depocentros sedimentarios del subsuelo de la región Chacoparanense y su descripción e interpretación están íntimamente ligados al conocimiento adquirido a través de pozos exploratorios de hidrocarburos y a la correlación estratigráfica que se puede ajustar a las descripciones de los perfiles de dichos pozos (Chebli *et al.*, 1999). Sin embargo, los estudios geofísicos de sísmica y gravimetría muestran que la mayor parte de Formosa, al menos al Este de los 61°30'O, tiene una historia que puede vincularse con aportes provenientes del Escudo Brasileiro (Rossello *et al.*, 2006). La similitud entre las asociaciones litológicas conocidas de Paraguay, con las rocas encontradas en perforaciones profundas realizadas al Este de Formosa, ha sido corroborada con estudios gravimétricos. Otro rasgo coincidente de la geología de ambos países es la presencia de lineamientos estructurales de rumbo NE-SO, rellenados por diques alcalinos de edades que van del Cretácico inferior al Paleógeno (Gomes *et al.*, 2013). Los diques, originalmente fueron considerados como un elemento del Arco de Asunción pero luego, a través de datos geofísicos y geocronológicos, se determinó su relación con afloramientos volcánicos en Brasil de la Cuenca de Paraná y rocas similares del subsuelo del Este de Formosa.

Al Este del meridiano de 61°O, solo se habían realizado en Formosa hasta 1999 dos perforaciones profundas de exploración, por lo que no ha podido completarse un mapa paleogeográfico preciso para el área de Formosa. Según Chebli *et al.* (1999) la cuenca de Las Breñas (o Charata) tendría un relleno de aproximadamente 4.000 m. Es interesante mencionar que la sección superior de la perforación de Las Breñas, constituida por areniscas rojas del Devónico y sedimentos lutíticos del Carbonífero, se puede homologar a unidades similares aflorantes en Paraguay.

Un rasgo reconocido por la exploración sísmica es que los “altos estructurales” están limitados por fallas que muestran inversiones tectónicas. El Alto de Las Breñas estaría inclinado al Este en tanto que el Alto de El Caburé, situado más al Oeste, tendría una inclinación al Oeste. Este contraste de vergencia tectónica suele asociarse a bordes de terrenos como podría ser el caso del subsuelo de Formosa. Se acepta, en general, que el Alto de Las Breñas constituye el límite occidental (aceptado al presente) del basamento del cratón brasileiro (Riccomini *et al.*, 2005). La interpretación de la estratigrafía del subsuelo de Formosa muestra una secuencia de eventos en los que depocentros elongados en sentido NE y limitados por altos estructurales (Figura 2) tuvieron desplazamientos durante la mayor parte del Paleozoico, siendo afectados entre el Cretácico y el Paleógeno por un evento que influyó en los procesos sedimentarios posteriores, que

podría vincularse con la separación de Gondwana (Rossello *et al.*, 2006). La proveniencia sedimentaria, así como la movilidad tectónica, muestran una relación con la historia del borde occidental del cratón brasilero. Esta relación entre las cuencas profundas reconocidas en Formosa y los aportes del cratón brasilero nos permiten suponer que entre ambos elementos estructurales existió una historia en común que aún debe ser evaluada.

Al inicio del Neógeno se produjo el último evento con influencia atlántica representado por la sedimentación de la “ingresión paranense”. El límite de la ingresión estuvo marcado por el orógeno andino que fue “achicando” los límites de la ingresión a partir del Mioceno medio o superior, modificando la geometría de la sedimentación del subsuelo de Formosa.

En coincidencia con este desplazamiento se produjeron variaciones en el régimen climático, con tendencia al establecimiento de condiciones de mayor aridez, que favorecieron la deposición de amplios abanicos aluviales cuyos ejes principales coincidían con los cursos originales de los ríos Pilcomayo, Bermejo, Juramento y Salado, originados en el antepaís andino occidental (Talhmeier *et al.*, 2019),

El eje de mayor escurrimiento de los antiguos abanicos tenía una orientación con sentido Sureste, en dirección a su nivel de base, el río Paraguay. Esta orientación, que coincidía con el eje de sedimentación, estuvo activa hasta el final del Pleistoceno en que se instauró un régimen hídrico más estacional sin modificar la red de avenamiento, con caudales más abundantes en el período estival, que cubrió las secuencias sedimentarias de los antiguos abanicos, tal como ha sido observado en el reconocimiento del presente estudio.

CONCLUSIONES

- 1) Se puede concluir que la extensa planicie aluvial de la llanura Chacoparanense, desarrollada durante el Pleistoceno, que cubre la mayor parte del sector central y oriental de la provincia de Formosa, es la consecuencia del desarrollo de la sedimentación de grandes abanicos aluviales, originados en el pie oriental de las Sierras Subandinas de Argentina y Bolivia, en condiciones de un régimen hídrico de mayores caudales que el actual.
- 2) Los grandes colectores, que formaron los ejes de la sedimentación de los abanicos aluviales de mayor importancia, los ríos Pilcomayo, Teuco, Bermejo, Salado, Juramento, conforman actualmente el esquema principal de la descarga hídrica de las cuencas de alimentación de la región subandina de ambos países, aunque sus regímenes hídricos han disminuido con respecto a su actividad inicial. Esta disminución está relacionada con la existencia de un régimen estacional que determina fluctuaciones de los caudales y la carga sedimentaria de los colectores.

- 3) Los colectores principales continúan siendo el sostén principal de los sistemas subterráneos adyacentes a los mismos. Se pudo observar que las poblaciones primitivas han tenido desde su instalación en la región una dependencia de supervivencia directamente relacionada con la fuente de vida que les brindaban los ríos principales, para su provisión de alimento (a partir de la vida acuática y nutriente ganadera) y energía (recursos vegetales) vinculados a ellos. Esta dependencia se mantiene aún activa en el presente y controla la economía básica y la distribución de los núcleos poblacionales actuales, como se puede observar en el Paraguay Occidental y en las provincias de Formosa, Santiago del Estero y Chaco de Argentina. Por lo expuesto se entiende que la libre circulación de los sistemas hídricos resulta esencial para el sostenimiento de los pobladores en toda la extensión de la región fitogeográfica chaqueña.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos muy especialmente las sugerencias del Dr. Guillermo Aceñolaza y el trabajo editorial de la Geóloga Gloria Ibañez Palacios, que nos permitieron adecuar y mejorar el trabajo presentado.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F.G. 1999. La Formación Paraná (Mioceno Medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes. En: Aceñolaza, F.G. y Herbst, R. (Eds.), *El Neógeno de Argentina*. Memoria 14. INSUGEO. Tucumán. Disponible en https://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg_14/
- Aceñolaza, F.G. y Aceñolaza, G. 1999. Trazas fósiles del Terciario marino de Entre Ríos (Formación Paraná, Mioceno medio), República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias* (Córdoba), Anales 64: 209-233.
- Ameghino, F. 1906. Les formations sédimentaires du Crétacé Supérieur et du Tertiaire de Patagonia, avec un parallèle entre leurs faunes mammalogiques et celles de l'ancien continent. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires* 15: 1-568.
- Baumann, V., Kruk, W., Tchilinguirian, P. y Marengo, H.G. 2002. *Cartografía Geológica de la Llanura, Hoja geológica 2560-1, Las Lomitas, Provincias de Formosa y Chaco*. Boletín 334, SEGEMAR, p. 52. Buenos Aires. También disponible en <https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/150>
- Camacho, H. 1967. Las transgresiones del Cretácico superior y Terciario de la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 22(4): 253-280.

- Chebli, G., Mozetic, M.E., Rossello, E. y Buhler, M. 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. En: Caminos, Roberto (ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29: 627- 644.
- Cordini, I.R. 1947. Los ríos Pilcomayo en la Región del Patiño. *Anales de la Secretaría de Industria y Comercio* 22, 127 p. Dirección de Minas y Geología. Disponible en <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/790>
- COBINABE. 2010. Comisión Binacional para el desarrollo de la Alta Cuenca del Rio Bermejo y el Río Grande de Tarija. *Memoria 1995-2009*, 108 p.
- Di Pasquo, M. y Azcuy, C. 1997. Palinomorfos retrabajados en el Carbonífero Tardío de la Cuenca Tarija (Argentina) y su aplicación a la datación de eventos diastrosóficos. *Geociencias* 2: 28-42.
- D'Orbigny, A.D. 1847. *Voyages dans l'Amérique Meridionale, Brasil, Uruguay, Argentina, Patagonia, Chile, Bolivia y Perú*. Societe Geologique de France. Strasbourg. 1.019. Edición en 7 tomos.
- Frenguelli, J. 1920. Contribución al conocimiento de la Geología de Entre Ríos. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 24: 55-256.
- Gomes, C. de B., Comin-Chiaramonti, P. and Fernandez Velázquez, V. 2013. A synthesis on the alkaline magmatism of Eastern Paraguay. *Brazilian Journal of Geology* 43(4): 745-761.
- Groeber, P.1957. Bosquejo geológico y climatológico de Formosa. *Academia Nacional de Ciencias* 40: 265-292.
- Grosso, S., López, R., Vergani, G. y O'Leary, S. 2013. Reservorios carbonáticos naturalmente fracturados en el Yacimiento Caimancito (Formación Yacoraite), Cuenca Cretácica del Noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70(1): 53-69.
- Gutiérrez, P., Di Pasquo, M. y Vergel, M. 2003. Palinoestratigrafía del Carbonífero-Pérmico de la Argentina: estado actual del conocimiento. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 5(2): 185-196.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. and Vail, P.R. 1987. The chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science* 235(4793): 1156-1167.
- Harrington, H. 1947. Explicación de las Hojas Geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, escala 1:200.000. *Dirección de Minas, Geología e Hidrogeología*. Argentina.
- Herbst, R. 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes, República Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina* 26(2): 221-243.
- Herbst, R. y Santa Cruz, J. 1985. Mapa litoestratigráfico de la Provincia de Corrientes. *D'Orbignyana* 2: 1-69.
- Iriondo, M.H. 1980. El Cuaternario de Entre Ríos. *Revista Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*. Santa Fe.
- Iriondo, M. 1987. Geomorfología y Cuaternario de la Provincia de Santa Fe. *D'Orbignyana* 4: 1-54.
- Iriondo M.H. 1991. El Holoceno en el Litoral. Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales "F. Ameghino". *Nueva Serie* 3(1): 1-40.

- Lagranja, C.J. 2001. *Pilcomayo, Río de la Vida*. Formosa: Gobierno de la Provincia de Formosa.
- Lutz, A.I. 1979. Maderas de Angiospermas (Anacardiaceae y Leguminosae) del Plioceno de la provincia de Entre Ríos, Argentina. *Facena* 3.
- Malumián, N., Suriano, J.M. y Cobos, J.C. 1998. La Formación Barranca Final en su localidad tipo. Mioceno, cuenca del Colorado. *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica* Actas 1: 125-130.
- Marengo, H.G. 2000. Rasgos micropaleontológicos de los depósitos de la transgresión Entrerriense-Paranense en la cuenca Chaco-Paranense y Noroeste Argentino. En: Aceñolaza F.G. y Herbst R. (eds.), *El Neógeno de Argentina*. Serie Correlación Geológica 14: 29-45. INSUGEO.
- Marengo, H.G. 2002. La Transgresión de Laguna Paiva: distribución y problemas estratigráficos. *15º Congreso Geológico Argentino* Actas 1: 637-642. El Calafate.
- Marengo, H.G. 2006. *Micropaleontología y estratigrafía del Mioceno marino de la Argentina: las transgresiones de Laguna Paiva y del "Entrerriense-Paranense"*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Buenos Aires, 246 p. Inédita.
- Marshall, L.G., Sempere, T. and Gayet, M. 1993. The Petaca (late Oligocene-middle Miocene) and Yecua (late Miocene) formations of the Subandean-Chaco basin, Bolivia, and their tectonic significance. *Travaux et Documents des Laboratoires de Geologia de Lyon* 291-301. Disponible en <https://www.persee.fr/collection/geoly>
- Mingramm, A., Russo, A., Pozzo, A. y Cazau, L. 1979. Sierras Subandinas. En: Turner, J.C. (ed.), *13 Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 1: 95-138.
- Noetinger, S. y Di Pasquo, M.M. 2009. Nuevos datos palinológicos de la Formación Rincón, en la provincia de Salta, Argentina. *14 Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología*, Resúmenes 2.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H., Aragón, R., Campanello, P., Prado, D., Oesterhele, M. y Lem, M. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28(1): 40-63. DOI:10.25260/EA.18.28.1.0.399.
- Padula, E., Rolleri, E., Mingramm, A., Criado Roque, P., Flores, M. and Baldis, B. 1967. Devonian of Argentina. *International Symposium on the Devonian System*. Proceedings 2: 165-199.
- Padula, V. y Mingramm, A. 1969. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chacoparanense. *3º Jornadas Geológicas Argentinas* Actas 1: 291-331. Buenos Aires.
- Pezzi, E. E. y Mozetic, M. 1989. Cuencas sedimentarias de la región chacoparanense. En: Chebli G. y Spalletti L. (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. Serie de Correlación Geológica 6: 65-78. Tucumán.

- Ramos, V. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(3): 41-96.
- Riccomini, C., Gomes Santa Ana, L. y Ferrari, A.L. 2005. Evolucao geologica do rift do sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolucao de Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Sao Paulo, p.p. 383-405. Disponible en https://www.academia.edu/download/37860269/Riccomini_et_al_2004.pdf
- Rossello, E., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., Fúlfaro, V. y Fernández Garrasino, C. 2006. La dorsal Asunción-Río Grande: un alto-fondo regional entre las cuencas Paraná (Brasil, Paraguay, Uruguay) y Chaco-paranense (Argentina). *Revista Brasileira de Geociências* 36(3): 181-196.
- Rubinstein, C.V. 1995. Acritarchs from the upper Silurian of Argentina: their relationship with Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 8(1): 103-115.
- Rubinstein, C.V. 2000. *Léxico estratigráfico argentino, Silúrico. Distribución regional y unidades equivalentes*. SEGEMAR, volumen 4. Buenos Aires.
- Russo, A., Ferello, R. y Chebli, G. 1979. Llanura Chaco-Pampeana. *II Simposio de Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias, I: 139-184. Córdoba.
- Salum Flecha, A. 1938. *Historia diplomática del Paraguay de 1869 – 1938*. 3^o Edición. Instituto Paraguayo de estudios Geopolíticos e Internacionales. 257 pág.
- Schlaginweit, O. 1943. La posición estratigráfica del yacimiento de hierro de Zapla y la difusión del horizonte glacial de Zapla en la Argentina y Bolivia. *Revista Minera, Sociedad Argentina de Mineralogía y Geología* 13: 115-127.
- Stappenbeck, R. 1926. *Geologie und Grundwasserkunde der Pampa*. Traducción del original, T. O'Connor, 1978. *Dirección Nacional de Minería y Geología* (inédito), Buenos Aires.
- Souza, P. A. y Petri, S. 1998. Reworked palynomorphs in the Upper Carboniferous sediments at Araçoiaba da Serra (Itararé Subgroup, Paraná Basin), State of São Paulo, Brazil. *Ameghiniana* 35(4): 379-385.
- Thalmeier, B., Brunetto, E., Kröhling, E. and Iriondo, M. 2019. Morphostratigraphic characteristics and Late Quaternary environmental evolution of the Salado-Juramento fluvial megafan, Chaco Plain, Argentina. *20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA)*, Dublin, Irlanda. www.researchgate.net/publication/329759758
- Tapia, A. 1935. Pilcomayo, contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. *Dirección de Minas y Geología*, Boletín 40, p.143. Disponible en <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/575>
- Turner, J.C. 1960. *Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y Adyacentes*. 42p. Buenos Aires. Disponible en <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4003>

- Vilela, C.R. 1969. Descripción Geológica de la Hoja 6 c, San Antonio de los Cobres. Provincias de Salta y Jujuy. Escala 1:200.000. *Carta Geológico-Económica de la República Argentina*, Boletín 110, 70 p. Buenos Aires, Servicio Nacional Minero Geológico.
- Zurita, A.E., Miño-Boilini, A.R., Carlini, A.A., Iriondo, M. y Alcaraz, M.A. 2009. Paleontología del Chaco Oriental. Una nueva localidad con mamíferos fósiles pleistocenos del río Bermejo (Formosa, Argentina). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26(2): 277-288.