

# MAPA GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE FORMOSA

## ESCALA 1:750.000

### Geología y geomorfología

Hugo G. Marengo, Roberto C. Miró e Inés M. Di Tomasso



Sabana de pastizal y palmeras caranday; Parque Nacional Pilcomayo, Formosa.

SERIE PUBLICACIONES N° 186

# MAPA GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE FORMOSA ESCALA 1:750.000 Geología y geomorfología

Hugo G. Marengo<sup>1†</sup>, Roberto C. Miró<sup>2</sup> e Inés M. Di Tomasso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Servicio Geológico Minero Argentino - Centro Mendoza

<sup>2</sup>Servicio Geológico Minero Argentino - Centro Córdoba

<sup>3</sup>Servicio Geológico Minero Argentino - Instituto de Geología y Recursos Minerales

*Supervisión:* Gabriela Anselmi

*Validación:* Gabriela Anselmi, Ana Tedesco y Cecilia Casanova

*Edición:* Daniel Rastelli

ISSN 0328-2325

BUENOS AIRES - 2025 (*en prensa*)

## SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

*Presidente:* Dr. Julio Bruna Novillo

## INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

*Director:* Dr. Martín Gozalvez

## DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA REGIONAL

*Directora:* Dra. Alicia Folguera

### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

*Esta publicación debe citarse como:*

Marengo, H.G., Miró, R.C., Di Tomasso, I.M. 2025 (en prensa). Mapa geológico de la provincia de Formosa. Escala 1:750.000. Geología y geomorfología. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Publicaciones N° 186, 37 pp. Buenos Aires.

ISSN 0328 - 2325

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES - SEGEMAR  
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia) 1650 - San Martín - Buenos Aires - República Argentina  
Edificios 14 y 25 | (11) 5670 - 0100  
[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar)

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1. Ubicación geográfica y antecedentes .....	3
1.2. Clima y vegetación .....	4
1.3. Suelos .....	4
<b>2. HIDROLOGÍA</b> .....	5
2.1. Los ríos principales .....	5
2.1.1. El río Pilcomayo occidental .....	6
2.1.2. El río Bermejo o Teuco .....	7
2.1.3. El río Paraguay .....	8
2.2. El Pilcomayo oriental y los “riachos” del este de Formosa .....	9
2.3. Hidrología subterránea .....	10
<b>3. GEOMORFOLOGÍA</b> .....	10
3.1. Los mega abanicos aluviales .....	10
3.2. Sistema del río Pilcomayo .....	12
3.3. Sistema del río Bermejo .....	12
3.4. Faja fluvial del río Paraguay .....	12
3.5. “Riachos” de la vertiente oriental .....	13
3.6. Geoformas eólicas .....	14
<b>4. GEOLOGÍA</b> .....	15
4.1. Geología del subsuelo .....	15
4.1.1. La cuenca de Paraná .....	15
4.1.2. Neógeno de la cuenca Chacoparanense .....	16
4.2. Unidades aflorantes .....	18
4.2.1. Pleistoceno Tardío-Holoceno temprano .....	18
Sistema del río Pilcomayo: Depósitos antiguos del abanico (q41P) .....	21
Sistema del río Bermejo: Depósitos antiguos del abanico (q41B) .....	21
4.2.2. Holoceno temprano .....	23
Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de paleocauces antiguos (q5AP) .....	23
4.2.3. Holoceno temprano a tardío .....	24
Sistema del río Bermejo: Depósitos de paleocauces (q57AB) .....	24
Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de paleocauces (q57AP) .....	25
Sistema del río Paraguay: Depósitos antiguos de la planicie aluvial (q6AA) .....	26
Depósitos de la planicie aluvial de riachos (q56a) .....	26
4.2.4. Holoceno tardío .....	27
Depósitos eólicos del Holoceno tardío* (Formación Las Lomitas) .....	27
Sistema del río Paraguay: Depósitos modernos de la planicie aluvial (q7AA) .....	28
Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de cauces abandonados (q7P) .....	29
Depósitos modernos de la planicie aluvial de riachos (q7a) .....	29
Depósitos de bañados y cañadas (q7am) .....	29
Sistema del río Bermejo: Depósitos de la planicie de divagación del Teuquito-Bermejito (q71B) .....	30
Sistema del río Bermejo: Depósitos de la planicie aluvial actual (q7AB) .....	30
4.3. Estructura .....	31
4.4. Historia geológica .....	32
<b>TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO</b> .....	35

## RESUMEN

El presente trabajo es la primera recopilación del conocimiento geológico y geomorfológico de la provincia de Formosa, integrante de la Llanura Chaqueña, en el noreste de Argentina. Se revisó la información más actualizada disponible sobre la evolución geológica de esta región y se presenta una clasificación, descripción y mapeo de las unidades estratigráficas cuaternarias aflorantes. Debido a la naturaleza del terreno, se prestó especial atención a los procesos hidrológicos y geomorfológicos en los mega abanicos de los ríos Pilcomayo y Bermejo.

El territorio de Formosa está desarrollado sobre el antiguo margen occidental de Gondwana, y la geología de su subsuelo es producto de varios procesos geológicos de escala continental. La acreción de terrenos (Pampia, Cuyania, Chilenia) al oeste del Cratón del Río de la Plata durante el Proterozoico y Paleozoico, la extensión mesozoica y la separación de África y América del Sur, y la tectónica Andina durante el Cenozoico, dejaron sus improntas en la formación y modificación de las cuencas, y en la evolución de los ambientes geológicos. En la actualidad, la provincia de Formosa está desarrollada en el interior continental de América del Sur, bajo condiciones tectónicas estables y climas subtropicales. Sin embargo, durante el Proterozoico y Paleozoico ocupó posiciones más australes, con frecuentes episodios de glaciaciones e intrusiones marinas y la permanente modificación del terreno por el movimiento vertical de los bloques del basamento. En el Mesozoico prevalecieron los ambientes áridos que finalizaron con un gran evento volcánico de escala sub continental. El ascenso de los cordones montañosos andinos durante el Neógeno formó áreas elevadas al oeste que aportaron inmensas masas de sedimentos a la Región Chaqueña, que formó una vasta depresión entre los 18° y 30° de latitud sur. La acreción vertical y el crecimiento hacia el este de estos cuerpos sedimentarios, desde este período hasta el Holoceno, permitió la acumulación de sedimentitas formadas dentro de mega abanicos que ocupan actualmente un área de unos 1500 km de longitud desde el frente orogénico de la región andina hasta el río Paraguay (Argentina), constituyendo una de las mayores cuencas sedimentarias continentales activas en el planeta.

Esta dinámica sedimentaria, sumada a la muy escasa actividad endógena, generó un paisaje plano, con una pendiente suave hacia el este-sureste, donde los sedimentos aflorantes más antiguos son de fines del Pleistoceno. La topografía plana, las grandes distancias, y la cantidad de sedimentos recibidos, condicionaron la eficiencia del transporte aluvial. Según la capacidad de cada río, y las características climáticas de cada período, las cargas sedimentarias pueden ser parcialmente transportadas fuera del sistema (ríos Paraguay y Paraná), o depositarse íntegramente en la superficie de los mega abanicos. La depositación produce taponamientos y retrocesos de los cauces principales, y finalmente la avulsión o migración lateral hacia un área baja cercana. Este proceso generó la típica morfología del Chaco, con ríos colectores activos y numerosos cauces abandonados, dispuestos en forma radial. Los cauces abandonados y áreas de intercanal suelen formar humedales (lagunas, esteros y bañados) por desbordes del cauce activo o precipitaciones. En el caso de precipitaciones locales abundantes, estos cauces pueden reactivarse dando lugar a una red de drenaje local, como ocurre en la actualidad en el oriente formoseño. La disposición de las geoformas y cuerpos sedimentarios aluviales, palustres y eólicos en la superficie son el resultado de las variaciones climáticas ocurridas desde fines del Pleistoceno hasta la actualidad. La escasez de dataciones absolutas y de detallados estudios estratigráficos y paleontológicos, impide en muchos casos conocer con precisión la edad de cada paso en la evolución climática de la región.

**Palabras clave:** geología de la Llanura Chaqueña, mega abanicos aluviales, Cuenca de Paraná, Cuenca Chacoparanense, Formosa, Pilcomayo, Bermejo.

## ABSTRACT

This work is the first compilation of geological and geomorphological knowledge of Formosa province, Chaco Plain, in northeastern Argentina. The most up-to-date information available on the geological evolution of this region is reviewed, and a classification, description and mapping of the outcropping Quaternary stratigraphic units are presented. Due to the nature of the landscape, special attention was paid to hydrological and geomorphological processes in the Pilcomayo and Bermejo megafans.

The territory of Formosa is developed on the former western margin of Gondwana, and its geological history reflects several geological processes on a continental scale. The accretion of terranes (Pampia, Cuyania, Chilenia) to the western margin of the Rio de la Plata Craton during the Proterozoic and Paleozoic, the Mesozoic extension and the separation of Africa and South America, or the Andean tectonics during the Cenozoic all left their marks on the formation and modification of basins and in the evolution of the geological environments. At present, the province of Formosa is developed in the continental interior of South America, under tectonically stable conditions and subtropical climates. However, during the Proterozoic and Paleozoic, this province occupied southern positions, with frequent episodes of glaciation and oceanic influxes, and the continuous modification of the terrain due to vertical basement block movements. In the Mesozoic, arid environments prevailed, ending with a great volcanic event on a sub-continental scale. During the Neogene, the rise of the Andean ranges led to the formation of elevated areas to the west, that contributed huge masses of sediments to the Chaco Region, which constituted a vast depression between 18° and 30° south latitude. The vertical accretion and eastward growth of these sedimentary bodies, until the Holocene, formed the sedimentary bodies known as alluvial megafans, which occupy an area of about 1,500 km from eastern Bolivia to the center of the province of Santa Fe (Argentina), and up to 700 km from the Andean region to the east, representing one of the largest active continental sedimentary basins on the planet. This sedimentary dynamics, along with scarce endogenous activity, generated a flat landscape with a gentle slope towards the east-southeast, where the oldest outcropping sediments date from the late Pleistocene. The flat topography, the great distances, and the amount of sediments received, conditioned the efficiency of the alluvial transport. Depending on the capacity of each river and the climatic characteristics of each period, sedimentary loads could either be partially transported out of the system (Paraguay and Paraná rivers) or deposited entirely on the surface of the megafans. This deposition produces plugging and receding of the main channels, which eventually result in avulsion or lateral migration towards a nearby low area. This process generated the typical morphology of the Chaco plains, with active collectors and numerous abandoned channels, arranged radially. Abandoned channels tend to form wetlands (ponds and swamps) due to overflows of the active channels or rainfall. In the case of abundant local rainfall, these channels can be reactivated giving rise to a local drainage network, as is currently the case in eastern Formosa. The arrangement of these morphologies and of the alluvial, lacustrine and eolic sedimentary bodies on the Surface is the result of the climatic variations from the late Pleistocene up to the present. The scarcity of absolute dating and detailed stratigraphic and paleontological studies, prevents, in many cases, the precise knowledge of the age of each step in the climatic evolution of the region.

**Keywords:** Chaco Plain geology, alluvial megafans, Paraná Basin, Chacoparanense Basin, Formosa, Pilcomayo, Bermejo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Región Chaqueña del noreste de Argentina abarca unos 450.000 km<sup>2</sup> en distintos sectores de las provincias de Formosa, Salta, Chaco, Santiago del Estero y Santa Fe, comprendiendo una extensa superficie poco conocida desde el punto de vista geológico. Las razones de esta exigua información se deben a la escasa presencia de recursos naturales mineros en su superficie, la homogeneidad del paisaje y al escaso desarrollo de su infraestructura. Sin embargo, aparte del interés puramente científico, es fundamental conocer las principales características físicas y la evolución de su territorio, para contribuir al desarrollo sustentable de su sociedad y economía.

Este trabajo se originó a partir de numerosos trabajos de mapeo geológico llevados a cabo por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) durante los últimos años e incluye, además, la compilación de información preexistente de datos geológicos y geomorfológicos de la región, considerando la información de superficie y del subsuelo de la provincia de Formosa.

La superficie de Formosa está formada por depósitos sedimentarios cuaternarios, principalmente aluviales, por lo que se ha prestado especial interés

a la descripción de la geomorfología fluvial. Por ello fue necesario prestar especial atención a la evolución espacial y temporal de los mega abanicos del Chaco, un sistema sedimentario que constituye el sustrato principal de su territorio.

El trabajo forma parte del proyecto de mapeo geológico regional de Argentina del SEGEMAR, y fue realizado siguiendo la normativa para los mapas provinciales del organismo. El producto cartográfico se presenta a escala 1:750.000, aunque la información fue digitalizada a escala 1:500.000. Como antecedentes de relevamientos geológicos regionales de Formosa se contó con la Hoja Geológica Las Lomitas (Baumann *et al.* 2002) a escala 1:250.000, y con trabajos a escala 1:1.000.000 realizados en forma expeditiva por el SEGEMAR.

El trabajo de campo se realizó en dos campañas durante el año 2015 (Fig. 1). La primera, realizada entre el 27 de mayo y el 6 de junio y coincidió con un período excepcionalmente lluvioso en el centro y oeste de Formosa. Esta circunstancia obligó a que las observaciones se efectuaran mayormente en zonas con rutas asfaltadas, con eje en la ruta nacional 81 que atraviesa la provincia de noroeste a sureste. La segunda campaña fue realizada entre el 23 de agosto y el 6 de septiembre con buenas condiciones climá-

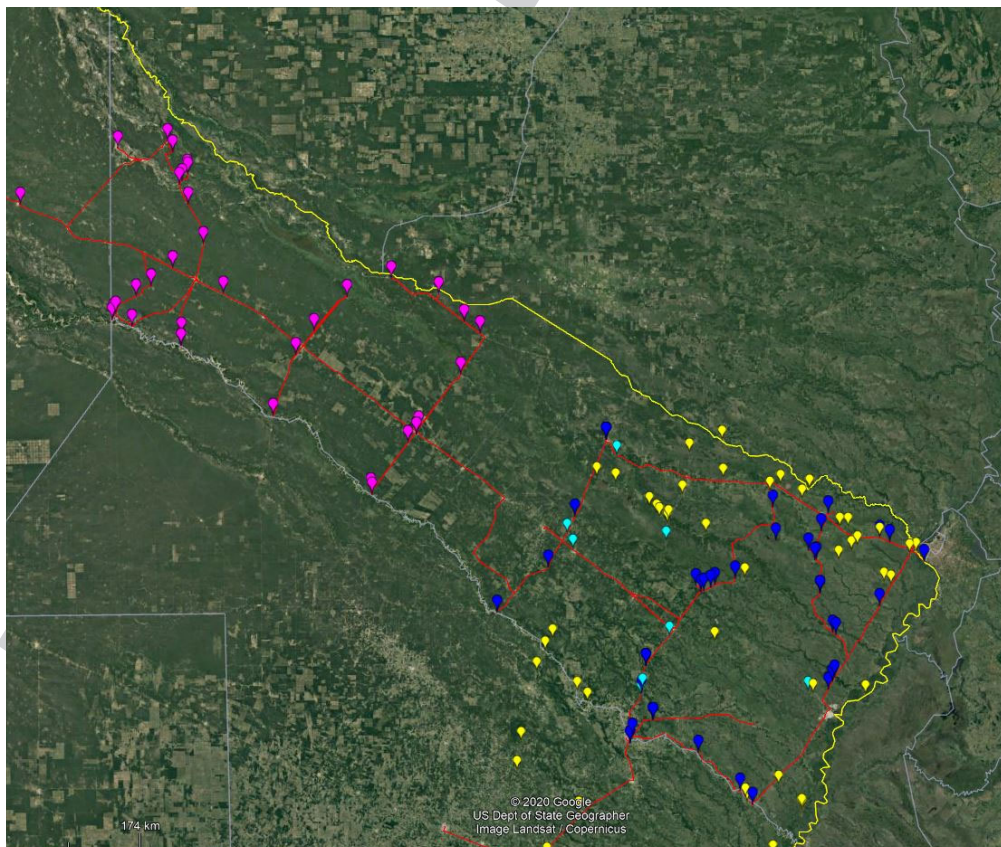


Figura 1. Puntos de observación y muestreo de las campañas 1 (azul) y 2 (rosa), y caminos recorridos (traza roja); puntos tomados en otros proyectos (celeste y amarillo). Imagen *Google Earth*, abril 2020.

ticas, lo que permitió completar las observaciones en el sector oriental, y recorrer la zona occidental y las áreas cercanas a los ríos Bermejo y Pilcomayo. Además, se cuenta con observaciones geológicas realizadas durante el relevamiento de campo de 5 hojas a escala 1:250.000, aún en ejecución, que comprenden la mitad oriental de Formosa y el noreste de Chaco, y durante el relevamiento de la Hoja Geológica SG-21, escala 1:1.000.000 (Comisión para el Mapa Geológico del Mundo -CGMW- y Asociación de Servicios Geológicos y Mineiros Iberoamericanos -ASGMI- 2011).

### 1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ANTECEDENTES

La provincia de Formosa tiene una superficie de 72.066 km<sup>2</sup>. La altitud media es 115 m s. n. m., con valores extremos en General Mosconi de 210 m s. n. m., al oeste, y de 70 m s. n. m. en la ciudad de Formosa, al este, junto al río Paraguay. Geográficamente se extiende entre los paralelos de 22°30' y 27°00'S y los meridianos de 57°35' y 62°20'17''O (Fig. 2).

Los primeros antecedentes geológicos de la provincia de Formosa corresponden a Tapia (1935), quien realizó una descripción de la geomorfología, los sistemas hídricos y ambientes generales de la región chaqueña. Posteriormente, Groeber (1958)

aportó una base a la geología regional de la provincia con énfasis en las unidades del subsuelo.

La exploración de hidrocarburos, realizada por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (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 la provincia de Salta y que luego se extendieron al oeste de Formosa. El primer pozo exploratorio de la cuenca fue Caimancito X-1, realizado en Salta y finalizado en 1969, a la profundidad de 4010 m, con una producción inicial de 500 m<sup>3</sup>/diarios de petróleo. Al extenderse la exploración a estructuras similares hacia el este, en la provincia de Formosa, se alumbró el yacimiento de Palmar Largo en 1983 (Fig. 3). Este yacimiento se continúa explotando en la actualidad y tiene como centro de la actividad petrolera a la localidad de General Mosconi.

Los estudios de sismica produjeron información sobre la estratigrafía profunda de la región (Minigramm *et al.* 1979). Los trabajos publicados por los geólogos de empresas petroleras aportaron datos estratigráficos y estructurales de los yacimientos (Fig. 3). La sección superior sedimentaria de la provincia (supra-cretácica) no fue considerada en general en

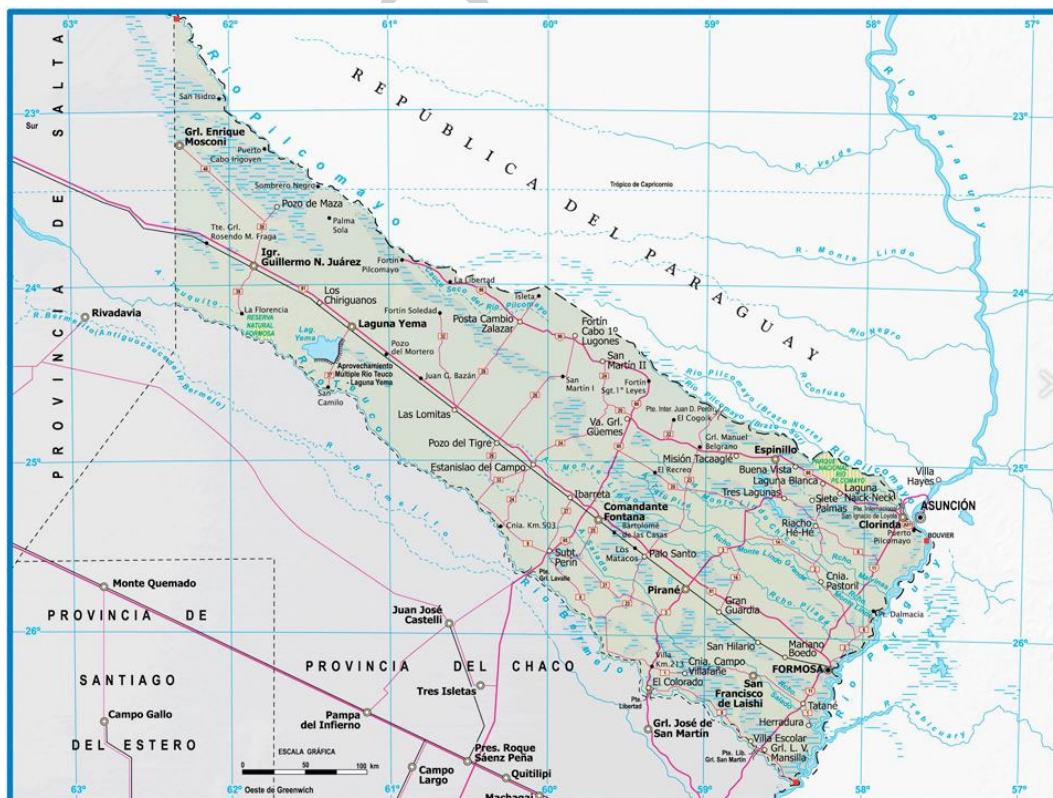


Figura 2. Mapa político de la provincia de Formosa. Instituto Geográfico Nacional.

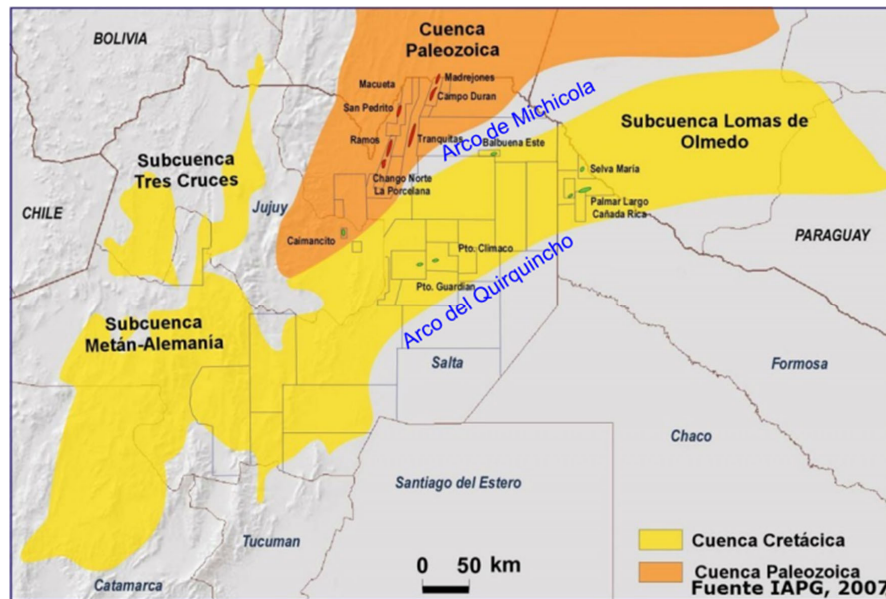


Figura 3. Extensión de las cuencas petrolíferas en Salta y Formosa. Modificado del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG 2007).

estos trabajos, ya que no constituía un objetivo de la explotación de hidrocarburos. Una síntesis sobre esta sección estratigráfica fue presentada por Marengo (2015) donde se describe la extensión y las características sedimentológicas y micropaleontológicas de las unidades cenozoicas del subsuelo de las provincias de Formosa y del Chaco.

Con respecto al mapeo geológico regional, como se mencionó, el único estudio específico corresponde a Baumann *et al.* (2002), realizado en el marco de un convenio entre los servicios geológicos de Argentina (SEGEMAR) y Alemania (BGR). Otros trabajos regionales realizados por el SEGEMAR en la provincia, corresponden al mapeo del oriente formoseño, incluido en el Mapa Geológico de América del Sur, Hoja Geológica SG-21, escala 1:1.000.000 (CGMW y ASGMI 2011), y de la totalidad de la provincia para el Mapa Geológico de la República Argentina, escala 1:2.500.000 (Lizuain Fuentes y Panza 2018), ambas tareas realizadas principalmente a partir de recopilación de antecedentes e interpretación de imágenes satelitales.

### 1.2. CLIMA Y VEGETACIÓN

Debido a su disposición geográfica, tanto el clima como la vegetación de Formosa muestran una gran variación en sentido oeste-este, principalmente en los regímenes de lluvias y evapotranspiración.

De esta manera, en el oeste los ríos son de carácter estacional y efímero, con una red muy mal integrada. En el centro y este provincial se ubica la

mayor parte de las cabeceras de los ríos y arroyos que alcanzan el río Paraguay, con un importante desarrollo y una gran abundancia de esteros y lagunas de carácter permanente y temporario.

En el extremo oriental el clima es de tipo subtropical húmedo, con valores de precipitación promedio de 1419 mm/año y de evapotranspiración en torno a los 1000 mm/año, lo que resulta en un importante exceso hídrico.

Las unidades de vegetación son sintetizadas en la figura 4, según el criterio de Oyarzabal *et al.* (2018).

### 1.3. SUELOS

Los suelos de Formosa guardan una estrecha relación con las características sedimentarias y del drenaje superficial, coincidiendo en líneas generales con los tres grandes sectores geomórficos de la provincia (occidental, central y oriental; Fig. 4). Se recomienda consultar un póster realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en [www.geointa.inta.gob.ar/wp-content/uploads/downloads/Laminas\\_de\\_Suelos/](http://www.geointa.inta.gob.ar/wp-content/uploads/downloads/Laminas_de_Suelos/).

Siguiendo la clasificación del INTA – Proyecto NUD (1990), en el sector occidental las condiciones de semiaridez se ven reflejadas en la reducida variedad de especies arbóreas y en el predominio de suelos de tipo haplustoles formados sobre los depósitos aluviales modernos.

El sector central posee una menor pendiente y un régimen de lluvias más estacional. Se incrementan las variedades arbóreas y arbustivas, y se hace

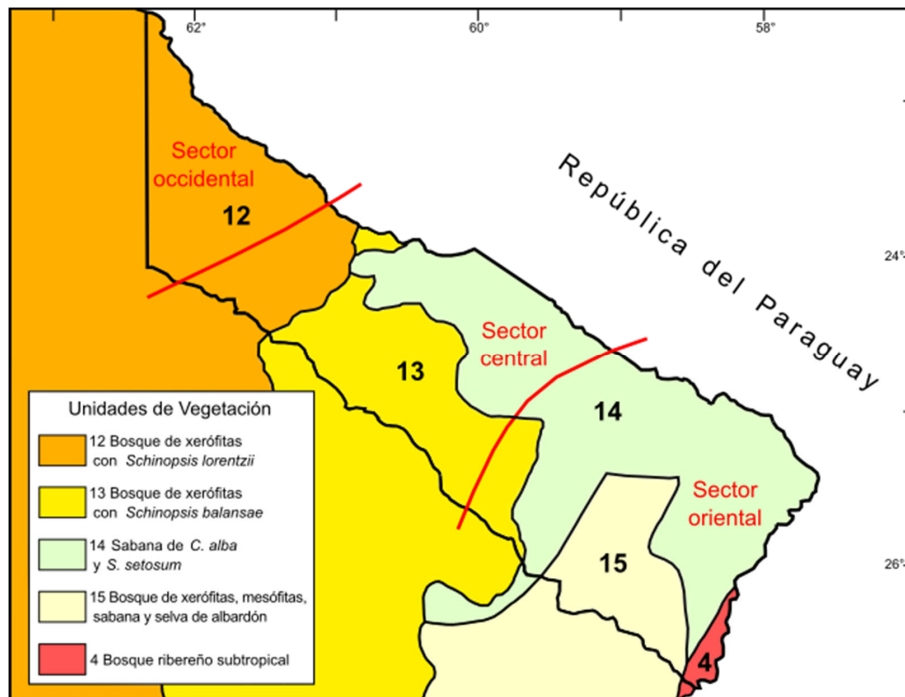


Figura 4. Unidades de vegetación de Formosa, modificado de Oyarzabal et al. (2018). En rojo, sectores geomorfológicos principales de la provincia.

importante la presencia de pastizales. Se observa una transición rápida en sentido oeste-este, desde suelos bien drenados hacia suelos del tipo aplustaf y argiustoles.

Finalmente, en el sector oriental, con un régimen pluvial que supera los 1200 mm anuales y un escurrimiento impedido, que genera amplias áreas inundables, predominan los suelos del tipo natracuaf y endocuaf. Se trata del área de mayor actividad de producción agrícola y es habitada por más del 80% de la población de la provincia. En este sector existe además la mayor variedad de asociaciones arbóreas.

## 2. HIDROLOGÍA

Los sistemas hídricos de Formosa muestran numerosas evidencias de ser remanentes de sistemas de mayores caudales, desarrollados como anchas fajas fluviales, con cursos coalescentes y divergentes vinculados a los dos grandes colectores principales, los ríos Pilcomayo y Teuco-Bermejo. Estos sistemas fueron controlados por las variaciones climáticas ocurridas durante los últimos 60 mil años.

En los últimos 50 años la acción antrópica ha modificado el escurrimiento natural en Formosa mediante obras hídricas realizadas para desviar o contener los escurrimientos superficiales, regular el drenaje, mejorar el aprovechamiento agropecuario o para la protección de áreas urbanas.

Es notable la influencia que tienen en la modificación del escurrimiento natural las diversas rutas que atraviesan Formosa en sentido suroeste-noreste, en forma perpendicular al sentido general del escurrimiento. Aunque se han respetado los cauces naturales mediante la construcción de puentes, las crecidas estacionales que fluyen por las llanuras de inundación encuentran una contención en los terraplenes viales, lo que origina una mayor permanencia de las áreas inundadas al oeste de estas rutas. Los ejemplos más claros se observan en las obstrucciones temporales que forman los terraplenes de las rutas nacionales 11 y 95 y rutas provinciales 3, 23 y 24.

### 2.1. LOS RÍOS PRINCIPALES

Los límites políticos de Formosa coinciden con las fajas fluviales de tres ríos mayores (Fig. 2). Al norte el río Pilcomayo y al este el río Paraguay sirven de límites entre Argentina y Paraguay, mientras que al sur el río Teuco-Bermejo limita con la provincia del Chaco. El límite oeste con la provincia de Salta corresponde a un tramo de 180 km del meridiano de 62°20'32"O, delimitado por la línea Barilari.

Es importante aclarar que bajo el nombre Pilcomayo, se hace referencia a dos ríos diferentes. Por un lado, se encuentra el río Pilcomayo occidental que tiene sus nacientes en los Andes bolivianos y llega hasta el noroeste de la provincia de Formosa, finalizando su cauce en la intersección del Bañado

La Estrella con la ruta provincial 24. Aguas abajo, en el Salto Palmar, nace el río Pilcomayo oriental, en el límite con Paraguay a los 59°29'O. Este segundo río que desagota en el río Paraguay a la altura de Clorinda, es de dimensiones claramente menores (su caudal es 25 veces inferior al occidental) y diferentes condiciones hidrológicas y químicas.

### 2.1.1. EL RÍO PILCOMAYO OCCIDENTAL

Es un río consecuente con escurrimiento de noroeste a sureste, que nace en las sierras del suroeste de Bolivia, con cabeceras localizadas en alturas de hasta 5.900 metros. La cuenca imbrífera tiene una extensión de 87.349 km<sup>2</sup> (Latrubesse *et al.* 2020), de los cuales 20.372 km<sup>2</sup> se ubican en las sierras Subandinas. La descarga es muy variable a lo largo del año, con valores máximos en verano. En Villamontes (Bolivia) el Pilcomayo occidental sale del ámbito de las sierras Subandinas, a una altitud de 380 m s. n. m., y comienza su recorrido por un área abierta (Fig. 5) hasta el paraje El Desmonte, en el noroeste de Formosa (230 m s. n. m.; 22°40'00"S; 62°12'30"O). Allí el cauce pierde identidad, y las

aguas son actualmente desviadas hacia Argentina y Paraguay a través de canales artificiales.

En la zona del límite internacional con Paraguay, por unos 330 km entre El Desmonte y Salto Palmar, existen numerosos paleocauces, bañados y esteros por donde escurrían las aguas del Pilcomayo occidental antes de su retroceso y de la construcción de los canales en 1991. Diversas fuentes históricas dan cuenta de las marcadas variaciones del cauce en esta área, que provocaron lógicos conflictos de límites entre Argentina y Paraguay.

El primer estudio científico para la separación política comenzó en la década de 1940, con los exhaustivos trabajos de Cordini (1947). En esa época el cauce del Pilcomayo occidental llegaba hasta aproximadamente los 60°25'O, desde donde, por medio de desbordes en épocas de crecientes, alimentaba al estero Patiño. Debido a los particulares procesos de taponamiento y atarquinamiento, el río retrocedió unos 150 km entre 1942 y 1976, y otros 150 km hasta 1990 (Martín-Vide *et al.* 2014).

En Salto Palmar, donde se hallaba el borde oriental del estero Patiño, se localiza la cabecera del río Pilcomayo oriental que está alimentada en forma

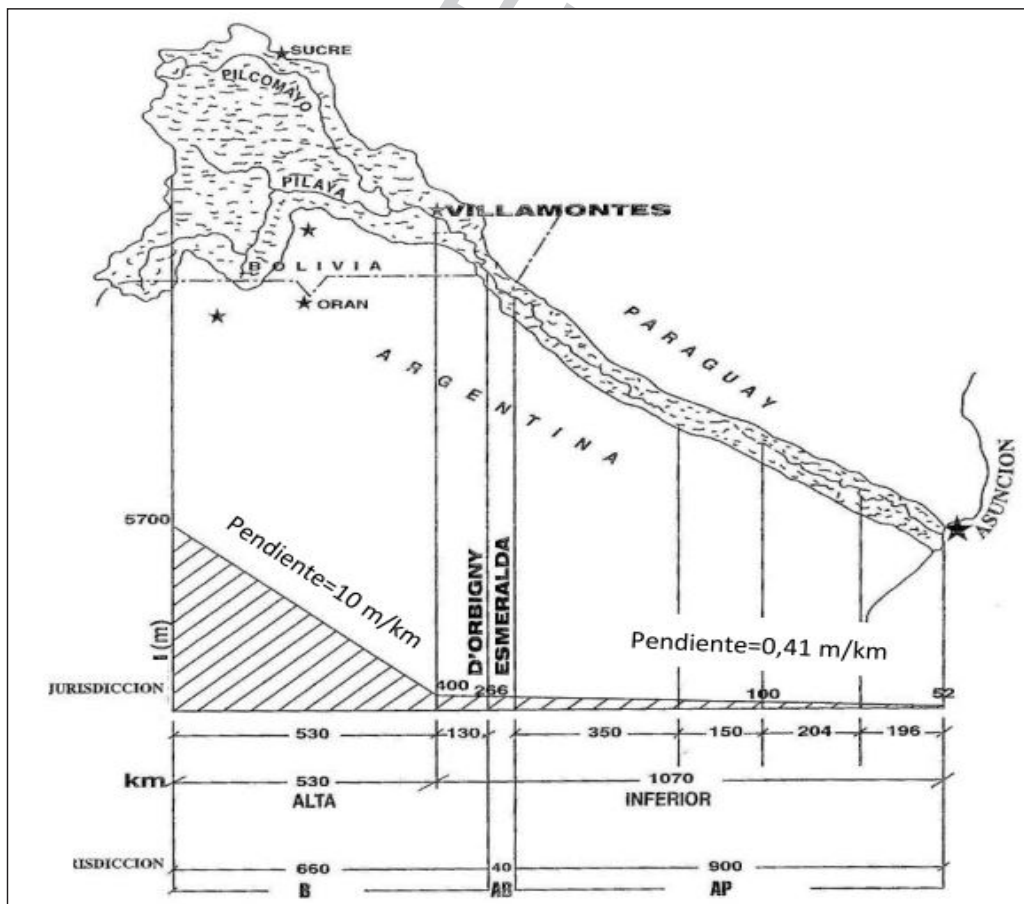


Figura 5. Pendientes y cotas de los principales tramos del río Pilcomayo, según Lagranja (2001).

indirecta por las aguas del Pilcomayo occidental, y en parte por lluvias y vertientes locales.

### 2.1.2. EL RÍO BERMEJO O TEUCO

El río Bermejo posee un curso paralelo al Pilcomayo y está situado 200-180 km al sur de este. Se desplaza de noroeste a sureste con un recorrido de 1.450 kilómetros. Se origina en la sierra de Santa Victoria, en la provincia de Salta, en el límite con Bolivia, y recibe varios afluentes en su cuenca imbrífera, la cual se desarrolla en territorios de la Cordillera Oriental, el Sistema de Santa Bárbara y las Sierras Subandinas. La cuenca imbrífera ocupa 51.949 km<sup>2</sup>, de los cuales 26.051 km<sup>2</sup> se encuentran en las Sierras Subandinas (Latrubesse *et al.* 2020).

A la latitud desde Embarcación (provincia de Salta) se produce la confluencia del río Bermejo con el río San Francisco y se forma el ápice del mega abanico. En ese punto adopta su dirección definitiva hacia el este y sureste y, por la baja pendiente, el cauce se vuelve inestable con habituales las avulsiones (Figs. 6 y 7). La última avulsión ocurrió durante el siglo XIX: el tramo del Bermejo que corría al sur de Rivadavia (provincia de Salta), se desplazó hacia el norte; desde entonces este cauce principal se denomina Teuco, y el antiguo cauce se conoce como Bermejito.

En el límite entre Formosa y Chaco, el Teuco tiene en la actualidad un cauce estable, y corre en forma paralela al Bermejito por casi 400 km, hasta que se vuelven a unir en Villa Río Bermejito (Chaco) que se encuentra cerca de la intersección entre

el cauce del río Bermejo con la ruta nacional 95. Desde ahí retoma el nombre de río Bermejo, hasta su desembocadura en el río Paraguay (Fig. 8). El río Bermejito recibe aportes del mega abanico del Salado desde el suroeste, y de lluvias estivales, por lo que su régimen es estacional. Entre los ríos Teuco y Bermejito suelen generarse desbordes hacia numerosos cursos transitorios que caracterizan una amplia región conocida como El Impenetrable.

El Bermejo/Teuco es el único de los grandes ríos del Formosa que alcanza su nivel de base en el río Paraguay debido a su importante caudal y a la menor relación entre carga sedimentaria y caudal de agua. La distancia en línea recta desde el ápice hasta la desembocadura es de 676 km, con una pendiente media de 0,037%.

El régimen hídrico del río Bermejo está sujeto a la variación estacional del régimen de lluvias en la cuenca alta. Dentro de la provincia de Formosa el río Bermejo puede obtener aportes esporádicos de algunos arroyos y esteros.

En épocas de crecida se producen pérdidas por infiltración y desbordes, mientras que en épocas de estiaje recibe aportes de aguas freáticas. La salinidad del Bermejo aumenta gradualmente hacia la desembocadura y, como es natural, este incremento es más pronunciado en períodos de estiaje.

El cauce medio del río Bermejo se desarrolla entre barrancas moderadamente consolidadas (Fig. 9), ya que su base está labrada en depósitos antiguos del mega abanico, del Pleistoceno Tardío. Los depósitos actuales de barra en espolón son predominantemente arenosos, como se observa en la figura 10.



Figura 6. El río Bermejo (Salta) y Teuco (Formosa) en cercanías de la picada Barilari. La faja de meandros del Bermejito comienza al oeste de Rivadavia. Imagen Google Earth, mayo 2020.

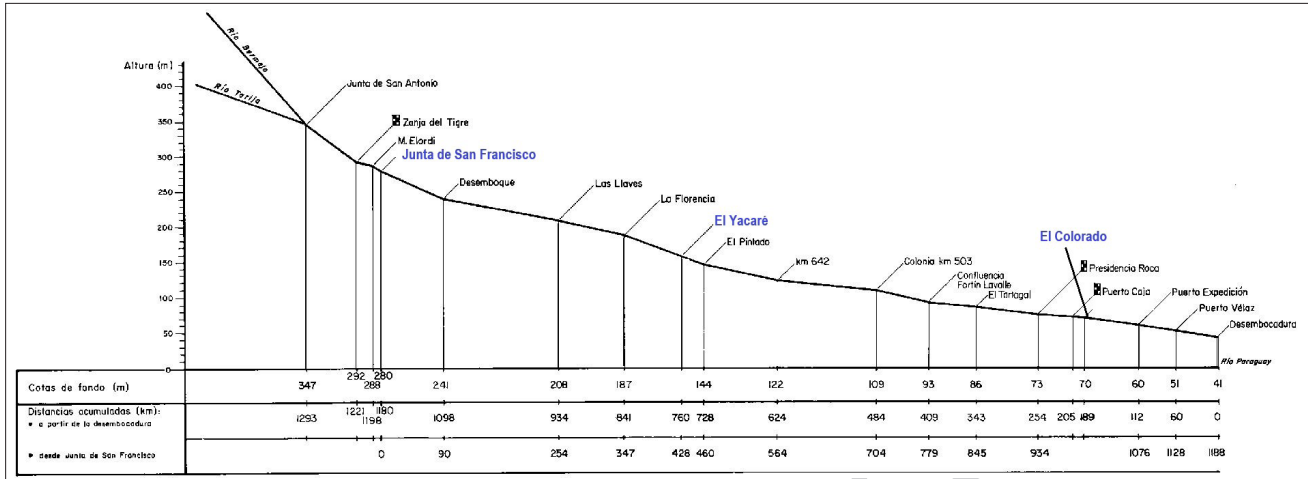


Figura 7. Perfil longitudinal del río Bermejo, con estaciones de aforo y localidades mencionadas en el texto, tomado de la Organización de los Estados Americanos (OEA 1977).

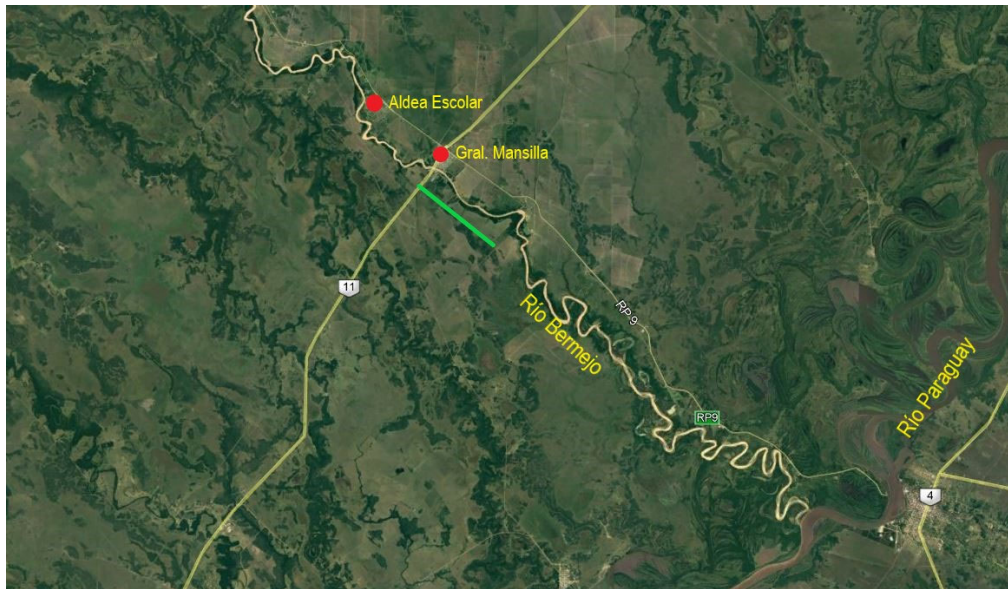


Figura 8. Confluencia de los ríos Bermejo y Paraguay. Línea verde, tramo de baja sinuosidad de 6 km aguas abajo del puente de la ruta nacional 11, posiblemente generado por el efecto de concentración del flujo que provoca la embocadura del puente (imagen Google Earth, mayo 2020).

### 2.1.3. EL RÍO PARAGUAY

La cuenca imbrífera principal del río Paraguay se desarrolla al sureste de las mesetas de Rondonia (Brasil), que forman la divisoria de aguas entre la cuenca amazónica, hacia el Norte, y la del Plata, hacia el Sur. La extensión de su cuenca de alimentación, con alturas medias de 300 m, se ha estimado en 1,7 millones de km<sup>2</sup>, una de las mayores del mundo. La descarga anual media es de 2.900 m<sup>3</sup>/s frente a Asunción, con mínimos históricos de 900 y máximos de 12.000 m<sup>3</sup>/s. Su régimen muestra caudales máximos durante los meses de junio a agosto. Su descarga se integra por aporte del 60% de ríos que provienen del Chaco Paraguayo, un 40% del Pantanal y de las cordilleras de Amambay, Mbaracayú y Caaguazú, situadas en

el Paraguay Oriental (Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija [COBINABE] 2010).

El tramo desde Asunción hasta el límite sur de Formosa, de unos 190 km en planta, forma una amplia faja fluvial con una pendiente de 0,52 cm/km y una profundidad del cauce de 6 a 3 m, con máximos de 9 a 12 m en crecientes. En estiaje desarrolla meandros abiertos que poseen radios de 1-2,5 km que ocupan toda la llanura aluvial que posee 5 km de ancho promedio. La llanura de inundación duplica su ancho, pudiendo alcanzar 9 km, y en crecientes máximas puede superar los 20 km. Este tramo del río Paraguay era el receptor del gran abanico aluvial que formaba durante Pleistoceno el mega-abanico del río Paraná.



Figura 9. Barrancas del río Bermejo a la altura de El Colorado, al fondo el puente de la ruta nacional 95.

## 2.2. EL PILCOMAYO ORIENTAL Y LOS “RIACHOS” DEL ESTE DE FORMOSA

Entre los 61 y 60° LO, aproximadamente, se encuentran las nacientes de una serie de cauces permanentes y subparalelos conocidos localmente como riachos. Recorren el este provincial, con sentido noroeste-sureste, y desagotan en el río Paraguay. Poseen

grandes variaciones de caudal ajustadas a la dinámica de las precipitaciones de la zona; en muchos sectores las planicies laterales suelen inundarse debido a las crecidas que sobrepasan los albardones (Fig. 11). Las zonas intercanal, inundadas, tienden a formar cuerpos de agua extensos y permanentes, que se recargan cuando vuelven a ser alcanzadas por las crecientes estivales (como por ejemplo las lagunas Blanca, Neick Neck, Grande, Pargandi, y Los Patos). Su principal recarga corresponde a precipitaciones y vertientes en sus cabezeras, y en algunos casos, especialmente hacia el norte provincial, pueden recibir aportes por desbordes del Pilcomayo o del bañado La Estrella (por ejemplo, los riachos El Porteño, Monte Lindo y He Hé).

Poseen longitudes lineales aproximadas entre 200 y 300 kilómetros y, como se mencionó 2.1.1, por sus características hidrológicas y geomorfológicas, el río Pilcomayo oriental es incluido en este grupo.

El Pilcomayo oriental posee un cauce bien definido excavado en sedimentos algo consolidados del antiguo mega abanico del Pilcomayo. Durante los primeros 120 km posee baja sinuosidad, el valle tiene albardones de una altura aproximada de 5 a 10 m y un ancho de tan solo 10-15 metros. Luego, paulatinamente baja el grado de incisión y aumenta la sinuosidad y el ancho del valle. La faja de meandros actuales no pasa de los 1000 m de ancho y el área de inundación puede alcanzar los 1500 m, valores que aumentan ligeramente en cercanías de Clorinda. El cauce en esta ciudad ha sido excavado artificialmente para limitar su expansión lateral, utilizando el material de un extenso terraplén del lado argentino para la construcción del mismo.



Figura 10. Depósitos arenosos de barra en espolón en la margen izquierda del río Bermejo, puente de la ruta nacional 95 (60°08'O); vista al Este.



Figura 11. Riacho He Hé, típico curso de agua del este de Formosa, con abundante vegetación en la zona de albardones, y cauce sinuoso.

### 2.3. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas de Formosa no son, en general, aptas para consumo humano. Por tal motivo la mayor parte del abastecimiento proviene de tomas en cursos de agua superficial. La explotación más intensiva del agua subterránea en la provincia se reduce en el presente al acuífero freático que tiene una profundidad que varía desde menos de 1 m, en las proximidades de los cauces de los ríos y bañados, hasta más de 60 m en el límite occidental.

## 3. GEOMORFOLOGÍA

La provincia de Formosa se ubica en la Llanura Chaqueña, región que nace en el pie oriental de las Sierras Subandinas y se extiende por unos 500-700 km hacia el este, hasta alcanzar su nivel de base en los ríos Paraguay y Paraná. Morfológicamente se pueden distinguir en Formosa tres sectores (occidental, central y oriental, Fig. 4) según el perfil del terreno, el clima, la red de avenamiento, los suelos y la cubierta vegetal.

El sector occidental se extiende desde el meridiano de 62°20'17"O, hasta la localidad de Ing. Guillermo N. Juárez (61°50'O). Corresponde a una zona de muy escasa actividad hídrica, con numerosos paleocauces colmatados con arena, donde afloran extensamente los depósitos antiguos de los mega abanicos. Hacia el este se puede separar una zona caracterizada por el sub abanico activo del Pilcomayo al noroccidental.

En el sector central el relieve es plano y los cursos de agua son escasos. Aparecen cuerpos de agua

de escurrimiento lento, como el bañado La Estrella, que corresponde a la zona de descarga actual del río Pilcomayo occidental. Hacia el NE, vinculado al mismo río, se encontraba el estero Patiño, colmatado hace pocas décadas. Dentro de este sector, el río Bermejo forma también el bañado de la laguna Yema. Hacia el este se encuentran zonas inundables que ocupan depresiones elongadas hacia el sureste, casi completamente colmatadas, y que aportan parte de su caudal a los "riachos" del sector oriental.

El sector oriental se desarrolla por unos 180 km, desde el este de Comandante Fontana (98 m s. n. m.) hasta el río Paraguay (70 m s. n. m.). Posee un relieve ligeramente convexo, surcado por numerosos cursos de agua que escurren en sentido noroeste-sureste hacia el río Paraguay. Este sector es el más modificado durante el Holoceno; en las barrancas del río Bermejo afloran los depósitos del antiguo mega abanico pleistoceno, con un valioso registro paleontológico.

### 3.1. LOS MEGA ABANICOS ALUVIALES

Los mega abanicos son sistemas fluviales distributivos que forman complejos de baja pendiente. Se desarrollan cuando ríos con amplias cuencas de imbriferas pierden su confinamiento y se explayan lateralmente en cuencas de grandes dimensiones formando sistemas multicanalizados que recorren cientos de kilómetros aguas abajo. Los ríos alimentadores suelen ser ríos antecedentes que atraviesan ortogonalmente sistemas de antepaís muy desarrollados y se explayan al salir del frente orogénico exhumado.

Los mega abanicos del Pilcomayo y Bermejo iniciaron la depositación de sus sedimentos a partir

del Mioceno y migraron hacia el este acompañando a la vergencia de la deformación andina. La subsidencia generada por el sistema de antepaís de las sierras Subandinas y Pampeanas originó una depresión conocida como cuenca Chacoparanense. Esta deformación favoreció la generación y transporte de una gran cantidad de sedimentos que se acumularon en este nuevo espacio de gran subsidencia, donde alternaron períodos de sedimentación continental y marina hasta el Mioceno tardío. La cronología durante los últimos 10 Ma es poco conocida, aunque lógicamente se produjo la progradación de los abanicos hasta alcanzar su nivel de base en los ríos Paraguay y Paraná.

La historia visible en la superficie comienza durante el Pleistoceno Tardío, edad de los depósitos aflorantes más antiguos en el Gran Chaco Sudamericano. Esta región ocupa la parte septentrional de la cuenca Chacoparanense, entre los 15 y 30°S, en territorios de Bolivia, Paraguay y Argentina; está caracterizada por el desarrollo de los mega abanicos aluviales de los ríos Grande, Parapetí, Pilcomayo, Bermejo, Juramento-Salado y Dulce (Fig. 12).

El clima de los últimos siglos es seco en relación al período de máxima actividad, ocurrido durante los momentos húmedos del Último Máximo Glacial (UMG), aproximadamente entre 60.000 y

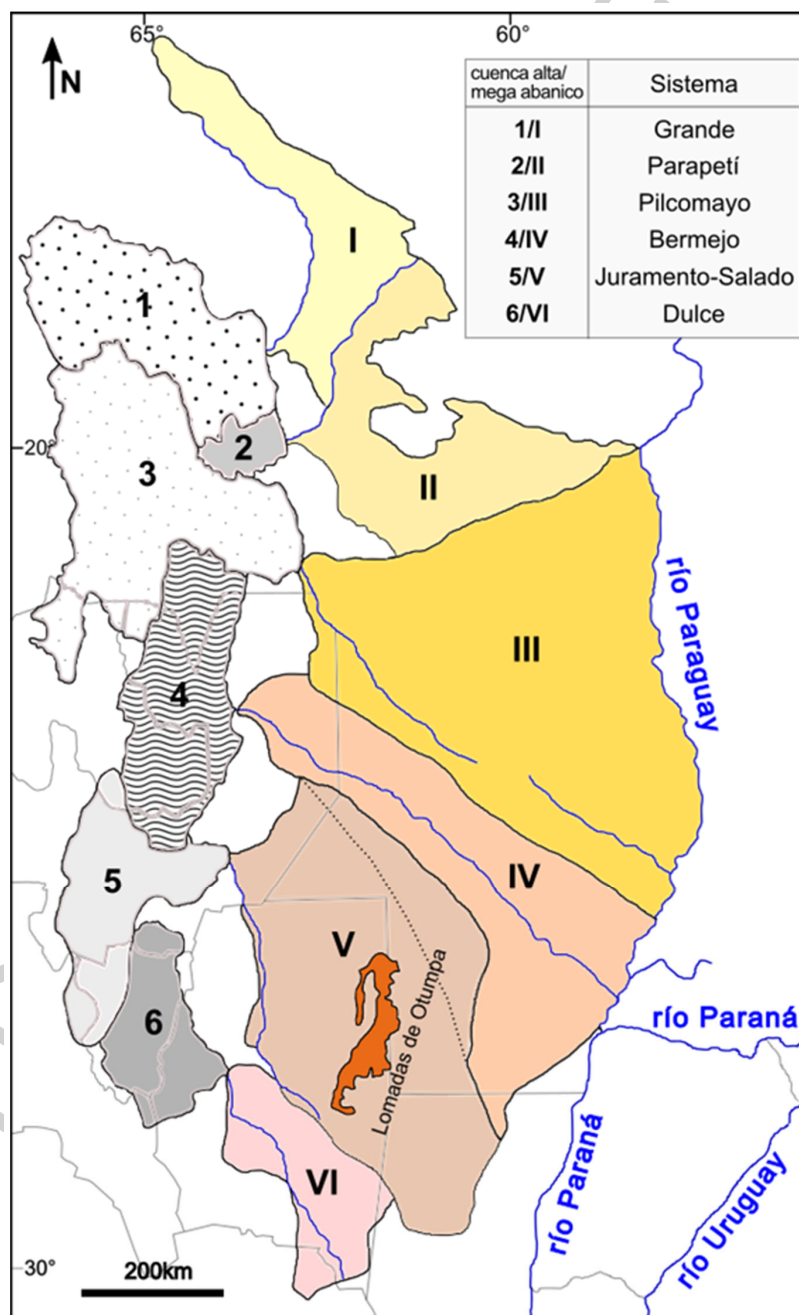


Figura 12. Mapa del Gran Chaco Sudamericano, con distribución de los mega abanicos. En línea punteada, probable límite antiguo del abanico del Bermejo. Modificado de Latrubesse *et al.* (2020).

20.000 años AP (Latrubesse *et al.* 2020), cuando se depositaron los sedimentos más antiguos observables en la base de los abanicos (formaciones Fortín Soledad y Río Bermejo; 4.2.1). En aquel tiempo los colectores alcanzaban esporádicamente el borde distal de los abanicos y migraban lateralmente con frecuencia, dejando a su paso someras depresiones elongadas radiales (paleocanales). En la actualidad, los principales colectores de estos abanicos en Argentina son los ríos Pilcomayo occidental, Bermejo, Salado-Juramento y Dulce, de los cuáles únicamente el Bermejo tiene el caudal necesario para llegar al río Paraguay. En los cuatro, el drenaje en la zona proximal es muy pobre, y está dominado por los colectores principales. En los abanicos del Pilcomayo y el Bermejo, estos colectores son los únicos cauces permanentes en la zona proximal; la zona distal es ocupada por una serie de arroyos o “riachos” (2.2) subparalelos que desagotan en el río Paraguay, y que son alimentados principalmente por lluvias locales; en general estos riachos ocupan las zonas deprimidas dejadas por los paleocanales del UMG.

### 3.2. SISTEMA DEL RÍO PILCOMAYO

Se incluyen aquí el mega abanico del Pilcomayo, el río Pilcomayo occidental, y los demás ríos que corren sobre su superficie. El Pilcomayo occidental se considera un remanente del antiguo sistema que generó el mega abanico aluvial. Los “riachos” ubicados al este de los 60°O, aunque ocupan la superficie del mega abanico, serán tratados en otro capítulo, debido a su desconexión hidráulica. El mega abanico del Pilcomayo es un cuerpo sedimentario de inmensa magnitud, y su construcción transcurrió probablemente durante los últimos 20 millones de años, en los cuales se extendió desde el pie de sierra subandino de Bolivia, hasta su máximo extremo distal en la faja fluvial del río Paraguay.

En el presente, esta gran área se encuentra prácticamente inactiva desde los puntos de vista sedimentológico y geomorfológico, ya que el único río que transporta las cargas líquidas y sólidas desde el área andina (3 en Fig. 12) es el Pilcomayo occidental, actualmente recostado hacia el flanco austral, en el área limítrofe entre Bolivia, Argentina y Paraguay. Es en este sector donde se produce la sedimentación, desde hace un tiempo difícil de precisar. El resto de la superficie del abanico no recibe depósitos aluviales en la actualidad, ni posee cursos de agua que produzcan incisión. La porción oriental, aproximadamente desde los 60°O, posee lluvias mucho más

abundantes, que dan origen a una gran cantidad de ríos de menor magnitud en Paraguay y Formosa, que han producido incisión en la antigua superficie del mega abanico, y dos o tres períodos de formación de llanuras aluviales, relacionados con los cambios climáticos holocenos; como ya se adelantó, por el carácter complejo de su origen, serán considerados por separado.

### 3.3. SISTEMA DEL RÍO BERMEJO

El mega abanico del Bermejo se diferencia del resto de los abanicos de la región Chaqueña, en que es el único que alcanza su nivel de base y consigue transportar gran parte de sus sedimentos fuera del sistema, a pesar de tener el menor gradiente regional.

Su forma está condicionada por la competencia de espacio con los abanicos del Pilcomayo y del Juramento-Salado, que restringen su crecimiento lateral en la mayor parte del recorrido. Este hecho puede guardar relación con la mayor dinámica fluvial del río Bermejo, que inhibe en gran medida la sedimentación, y permite la progradación de los abanicos vecinos. Una probable evidencia de la mayor extensión pretérita del mega abanico del Bermejo, se puede suponer a partir del importante incremento de su ancho hacia el sur, en el este del Chaco; esto podría indicar que en el pasado tenía una superficie triangular, que luego fue parcialmente cubierta por el avance del margen septentrional del abanico del Juramento-Salado (línea punteada en la figura 12). El avance de este último se vio restringido en el centro de Chaco, por el ascenso en tiempos relativamente recientes de las Lomadas de Otumpa, una estructura de unos 200 km de longitud en sentido nor-noreste, en el límite con la provincia de Santiago del Estero, como consecuencia del cual, el río Juramento se trasladó hacia el sur.

Tanto la composición de los depósitos en el subsuelo, como la evolución en el tiempo del mega abanico del Bermejo son muy pobremente conocidas, y se estima una evolución similar a la expuesta para el mega abanico del Pilcomayo.

### 3.4. FAJA FLUVIAL DEL RÍO PARAGUAY

El río Paraguay es un sistema fluvial con una historia prolongada, que ha ido labrando su cauce a través de unidades geológicas, que van desde el Paleozoico temprano hasta el Holoceno. El tramo adyacente a la provincia de Formosa corresponde a su curso inferior, antes de su confluencia con el

río Paraná, al que ingresa por su margen derecha. Morfológicamente está limitado por dos unidades que controlan su escurrimiento en este tramo, con sentido hacia el sur-suroeste. La margen izquierda está constituida por la zona de descarga del amplio paleoabánico del río Paraná en tanto que la margen derecha esta recostada sobre la terminación de los mega abánicos del Pilcomayo y Bermejo.

La faja fluvial del río Paraguay es considerablemente mayor que la de los ríos transversales, Pilcomayo y Bermejo, que desembocan en su margen derecha, y tiene un ancho de 5 km en estiaje, hasta un máximo de 20 km en crecientes extraordinarias. Los meandros tienen radios amplios, de hasta 2,5 km, en tanto que el perfil del cauce es más profundo, y fue excavado en unidades algo consolidadas del Terciario (¿Formación Ituzaingó?), razón por la que tiende a mantener un eje constante que facilita la navegación. Los meandros tienen una tendencia a recostarse hacia la costa paraguaya, excepto en la ciudad de Formosa, donde se desarrolló un meandro anómalo de radio corto, tangencial a la ciudad que podría tener un control litológico o estructural.

### 3.5. "RIACHOS" DE LA VERTIENTE ORIENTAL

El sector oriental de la provincia de Formosa concentra un drenaje denso de cursos subparalelos, "riachos" según la toponimia local, que fluyen en sentido sureste hacia el río Paraguay. Estos cauces fueron labrados sobre la superficie de los mega abánicos del Pilcomayo y Bermejo, y en muchos casos podrían corresponder a depresiones elongadas formadas antiguamente, como paleocauces de los colectores principales. En la red actual se recono-

cen, a nivel local, desniveles de baja magnitud que provocan bruscos cambios en la dirección de los riachos. La densidad de cauces profundos, en fajas estrechas, con cursos irregulares y con sinuosidades a veces marcadas, aparenta un sistema fluvial juvenil.

La alimentación de los cauces proviene mayormente de las precipitaciones estivales locales, concentradas en el período de noviembre a mayo, que varían entre 1000 y más de 1400 mm anuales en su recorrido. Los cauces se encuentran sobreelevados con respecto a las planicies. Están limitados por grandes albardones con de hasta 10 m generados por agradación durante sucesivos desbordes. Como consecuencia de esto las planicies, que son zonas deprimidas limitadas por albardones de tamaño de grano fino difícil de erosionar, ante los períodos de inundación se mantienen anegadas y esto afecta enormemente a las poblaciones de esta zona. Las planicies inundadas son los esteros marcados en el mapa.

Una característica común de estos cursos es que presentan albardones irregulares, a veces poco definidos, con bosques en galería; al ser por lo general más elevados que los terrenos circundantes, que origina restricciones al retorno de los desbordes hacia los cauces. En algunos ríos de este sector se han reconocido hasta tres niveles de agradación principales, o terrazas (Figs. 13 y 14); estos niveles se habrían originado durante períodos de estabilización de la red holocena o debido a un ascenso en el nivel de base, por inundación del río Paraguay. En la zona apical de los mega abánicos del Bermejo (Iriondo *et al.* 2000) y del Pilcomayo (Martín-Vide *et al.* 2014) fueron descritos niveles de terrazas, aunque no parece existir ninguna relación entre estos rasgos, y los aquí comentados.

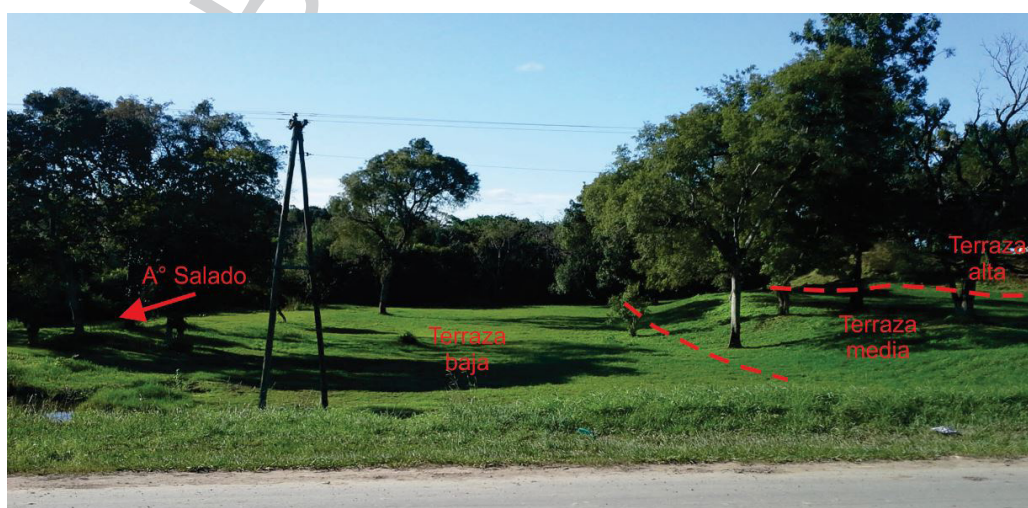


Figura 13. Terrazas en la margen izquierda del riacho Salado, en San Francisco de Laishí.

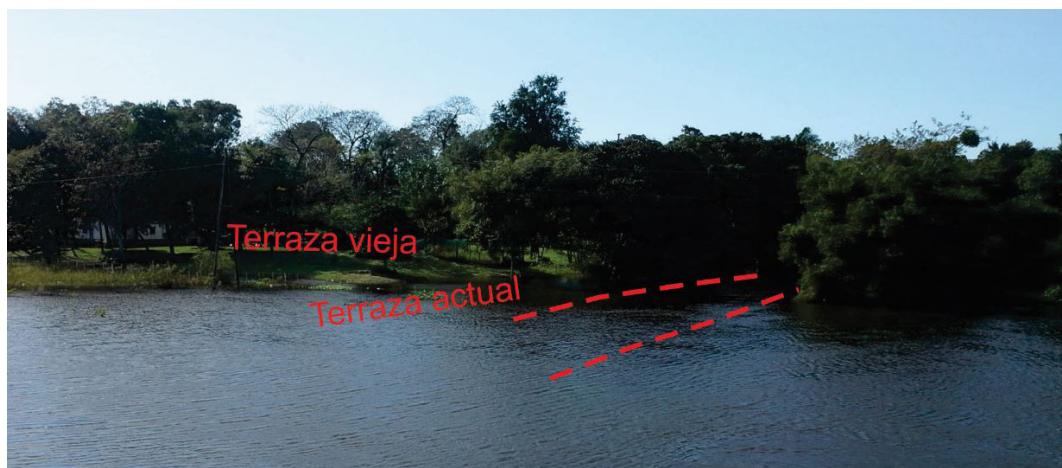


Figura 14. Riacho Pilagá a la altura de la ruta nacional 95. Área inundada sobre margen derecha por detrás del albardón. Las líneas rojas indican la posición del cauce habitual.

Iriondo (1974) y Latrubesse *et al.* (2020) propusieron que estos riachos ocupan los valles de los antiguos paleocauces del Pilcomayo formados durante el Pleistoceno Tardío. Sin excluir esta posibilidad, Cucchi (1973) describió algunos “ríos desajustados o sin proporción” en las cuencas de los riachos Monte Lindo Chico y Tatú Piré, donde las fajas de meandros actuales se instalaron en valles fluviales mucho más amplios y con meandros antiguos, con dimensiones desde 5 hasta 10 veces mayores (Fig. 15). Este autor atribuyó los cambios hidrológicos a variaciones climáticas. Según su opinión, las fajas mayores corresponderían a los climas más cálidos existentes hace 8000 a 4000 años, período conocido como Óptimo Climático del Holoceno, luego del cual se reconoce globalmente un período más frío y seco, durante el que habría aumentado la aridez en la zona (Iriondo *et al.* 2000). Finalmente, el

régimen de los riachos actuales estaría vinculado con el mejoramiento del clima que comenzó hace dos milenios, y que continúa en la actualidad. En imágenes satelitales se pueden observar fenómenos similares en numerosos cauces labrados en la parte distal de los abanicos del Pilcomayo y Bermejo, desde el centro de la provincia de Chaco, hasta el sur del chaco paraguayo.

### 3.6. GEOFORMAS EÓLICAS

Se conocen períodos de aporte de sedimentos eólicos en la provincia durante el Pleistoceno Tardío, como los sistemas loésicos del Noroeste y Pampeano (Iriondo 2010), pero no dejaron formas actualmente reconocibles en el paisaje. En algunos lugares de la provincia, principalmente en el oeste, se observan acumulaciones arenosas de forma irre-

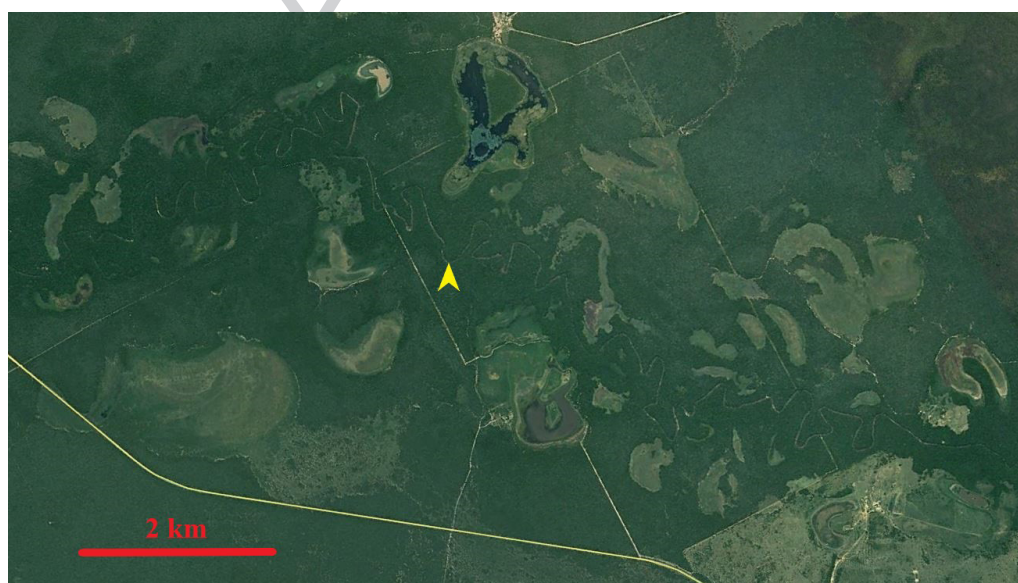


Figura 15. El riacho Monte Lindo Chico (flecha amarilla), con meandros muy tortuosos e irregulares, está alojado en una planicie aluvial con meandros abandonados de dimensiones mucho mayores. 25 km al suroeste de General Manuel Belgrano. Imagen Google Earth, mayo 2020.

gular que pueden corresponder a médanos arrasados (las denominadas “lomas”). El único sitio en el que los médanos conservan su morfología original es en la localidad de Las Lomitas, donde abarcan una superficie aproximada de 15 km<sup>2</sup>, aunque actualmente están muy degradados por la urbanización. Estos depósitos fueron llamados Formación Las Lomitas (4.2.4) por Iriando (2010), quien describió un espesor de unos 7 m de arenas cuarzosas finas a muy finas, a los que consideró formados durante el Período Seco del Holoceno superior, entre los 3500 y 1000 años AP (véase figura 28).

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1. GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

El subsuelo de Formosa es poco conocido ya que solamente se realizaron perforaciones petroleras en Mariano Boedo, Pirané y en el área de Palmar Largo (suroeste de El Potrillo). Además, se cuenta con perforaciones de profundidad mediana, que no llegaron más allá del Mioceno temprano, realizadas para la búsqueda de agua potable. Los estudios geofísicos regionales son muy escasos y de escalas de poco detalle. En consecuencia, el conocimiento sobre el subsuelo es preliminar y depende en gran medida de información de provincias y países limítrofes. A continuación, se sintetizan las principales unidades comprobadas o de existencia probable en el subsuelo, para brindar un panorama general de la evolución geológica de la provincia.

A grandes rasgos la historia geológica del territorio formoseño, como la de todo el noreste Argentino, está dividida en dos mega-ciclos que se refieren a la sedimentación de las cuencas de Paraná y Chacoparanense. En conjunto ocupan un territorio aproximado de 1.400.000 km<sup>2</sup> en el sur de Brasil, este de Paraguay, noreste y centro este de Argentina, y oeste del Uruguay, con espesores conocidos de hasta 7000 metros.

La sedimentación de la cuenca Paranense se desarrolló desde comienzos del Paleozoico, sobre el basamento del Cratón del Río de la Plata, hacia fines del Paleozoico con el comienzo del ascenso de la Dorsal Asunción-Río Grande (DARG). Esta dorsal fue dividiendo a la cuenca en dos sectores cada vez mejor definidos: la cuenca de Paraná *s.s.* al noreste, y la cuenca Chacoparanense al suroeste. Durante el Mesozoico la evolución del relleno de ambos depocentros fue similar, aunque se reco-

noce una importante diferencia en los espesores acumulados. Durante el Paleógeno ambas regiones permanecieron elevadas topográficamente y, en consecuencia, la acumulación de sedimentos fue escasa, la actividad geológica principal habría sido la erosión y la alteración de las rocas expuestas. Hacia fines del Paleógeno (*c.* 25 Ma) a raíz de esfuerzos compresivos este-oeste, asociados principalmente a la orogenia Andina, en la cuenca Chacoparanense comenzó un período de subsidencia que dio lugar a la deposición de hasta 800 m de sedimentitas neógenas a cuaternarias (25-0 Ma). Estos depósitos han conformado la actual superficie de las llanuras Chaqueña y Pampeana. Por otro lado, al este del lineamiento de rumbo NNE-SSO formado por los ríos Paraná y Paraguay (la Mesopotamia, el Oriente paraguayo, el sureste de Brasil, y la República oriental del Uruguay), se produjeron diferentes grados de ascenso tectónico.

Como excepción a este esquema, el área de Palmar Largo, en el extremo noroeste de la provincia, perteneció a la cuenca cretácico-terciaria del Noroeste Argentino (Salfity y Marquillas 1999). Corresponde a un depocentro desarrollado entre los arcos de Michicola y del Quirquincho, conocido como subcuenca Lomas de Olmedo. El basamento de esta cuenca corresponde a depósitos ordovícicos a carboníferos de la cuenca de Tarija. En el subsuelo de Palmar Largo se reconocieron depósitos de los sub Grupos Pirgua, Balbuena y Santa Bárbara, del Grupo Salta, que representan la evolución de un ambiente de *sin-rift* a *post-rift* y cuenca de antepaís, durante el Cretácico y el Paleógeno (Starck 2011). El Grupo Salta está constituido por depósitos continentales y volcánicos, con un episodio transgresivo marino (Formación Yacoraite), cuyas sedimentitas son a la vez la principal roca madre y el reservorio de hidrocarburos de la subcuenca. Una roca particular de esta zona corresponde a la volcanita Palmar Largo, un cuerpo basáltico relacionado a un edificio volcánico que ocupa un área de 700 km<sup>2</sup>, formado entre la depositación de los sub Grupos Pirgua y Balbuena, y que también actúa como reservorio de hidrocarburos (Starck 2011).

#### 4.1.1. LA CUENCA DE PARANÁ

El basamento ígneo metamórfico está muy bien expuesto en la provincia de Mantiqueira (sureste de Río Grande do Sul), en el Macizo del río Apa (Mato Grosso do Sul) y en la región del río Tebicuary (centro sur del Paraguay), en tanto que en el

subsuelo de la cuenca Chacoparanense permanece indiferenciado (Fig. 16). La asociación más antigua está referida al ciclo Transamazónico, con dataciones entre 2.800 y 1.538 Ma (finales del Arqueano hasta comienzos del Mesoproterozoico. Entre el Mesoproterozoico y el Cámbrico se conocen numerosas unidades graníticas, volcánicas ácidas y básicas alcalinas, y sedimentarias con diversos grados de metamorfismo, asignadas al ciclo Brasiliano. Hacia fines del Neoproterozoico (Criogeniano) en toda la región se registraron depósitos marinos asociados a un evento de glaciación.

Durante la finalización del Ciclo Brasiliano se produjo la apertura de la cuenca de Paraná, cuyos primeros depósitos se formaron hacia fines del Cámbrico. Milani *et al.* (2007) postularon seis supersecuencias depositacionales que van del Ordovícico al Paleógeno temprano, definidas en el sur de Brasil y que son resumidas en la figura 16.

#### 4.1.2. NEÓGENO DE LA CUENCA CHACOPARANENSE

Hace unos 25 Ma (fines del Oligoceno a principios del Mioceno) empezó un período de subsidencia asociado a la compresión andina, con centro en las provincias de Santa Fe, Chaco y Formosa, y el este

de Córdoba y Santiago del Estero. Este descenso del terreno favoreció en dos ocasiones la formación de vastos mares interiores, cuyas aguas ingresaron a través del norte de la provincia de Buenos Aires y alcanzaron el sur de Bolivia y el Chaco Paraguayo, en tanto que el límite oriental de la transgresión se hallaba en el centro oeste de la Mesopotamia.

Los depósitos marinos (formaciones Laguna Paiva y Paraná) constituyen dos horizontes de referencia estratigráfica en el subsuelo de prácticamente toda la llanura Chacopampeana, y ayudan a definir la edad de los niveles intercalados de la Formación Chaco (Marengo 2015). El depocentro Chacoparanense estaba flanqueado por áreas elevadas, entre las que destacan al oeste las Sierras Pampeanas y Subandinas y al este las áreas cratónicas del Paraguay Oriental, sur de Brasil y Uruguay, en tanto que la Mesopotamia se encontraba en una posición topográfica intermedia. En consecuencia, la cuenca recibió gran cantidad y de sedimentos de las áreas mencionadas, durante períodos de climas más cálidos, y probablemente más húmedos que en los últimos 10 millones de años.

La sedimentación habría comenzado durante el Chattiano (Oligoceno tardío) con la depositación de sedimentos continentales, que se apoyaron directamente sobre rocas de diversas edades, desde

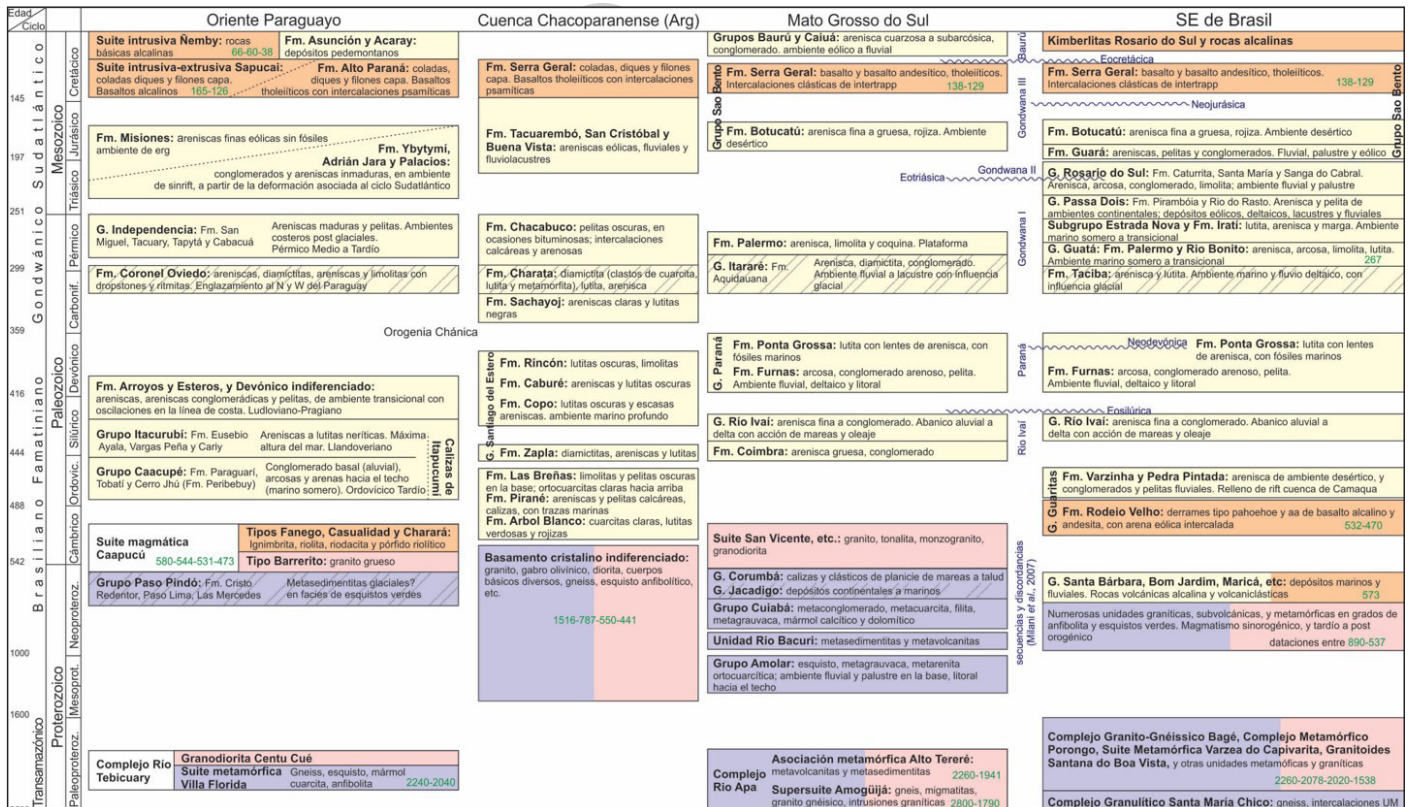


Figura 16. Síntesis estratigráfica de la cuenca de Paraná para algunas regiones, según recopilación de numerosas fuentes. Se indican: rocas metamórficas (violeta), plutónicas (rosado), volcánicas (naranja), sedimentarias (amarillo), evidencias de glaciaciones (rayado oblicuo) y edades absolutas en Ma (verde).

el Cratón del Río de la Plata, hasta los basaltos cretácicos (4.1.1). Los niveles sedimentarios de esta edad no siempre están presentes, siendo su espesor bastante irregular, y son conocidos como Miembro Palermo de la Formación Chaco. Por encima de estos sedimentos aparecen, en forma transicional, los depósitos marinos de la Formación Laguna Paiva (TLP, Figs. 17 y 18), de la base del Mioceno (25-21 Ma), compuesta de pelitas verdes y areniscas friables con yeso y microfósiles calcáreos. Luego se conocen importantes espesores de depósitos continentales, con variada participación loésica, conocidos como Miembro San Francisco de la Formación Chaco, que llegan hasta mediados del Mioceno (c. 15 Ma); serían parcialmente correlativos a la Formación Fray Bentos, aflorante en Corrientes y Entre Ríos.

Por encima se depositaron, en forma transicional o erosiva, los sedimentos marinos de la Transgresión Entrerriense-Paranense (TEP) o Formación Paraná. Su depositación habría culminado durante el Mioceno tardío, hace 10-9 Ma. Estos depósitos marcan el fin del ciclo sedimentario Neógeno en la cuenca, con excepción de la región Chaqueña donde la sedimentación continental fue esencialmente continua hasta el Plioceno y Pleistoceno. En Pozo del Tigre, en el centro de Formosa, los dos niveles marinos están en contacto, separados por una superficie erosiva (pri-

mer perfil de la figura 18) que se habría producido por suaves movimientos de ascenso asociados a la fase orogénica Quechua II en las Sierras Subandinas. Estos movimientos expusieron el techo de la Formación Laguna Paiva, en forma previa al ingreso del mar paranense. Sobre los depósitos miocenos se conocen arenas fluviales en la mayor parte de la cuenca que en general fueron asignadas al Plioceno, aunque con escasos elementos de prueba, y son conocidas como formaciones Puelche o Ituzaingó. Estas últimas aún no fueron halladas en Formosa, pero se conocen afloramientos muy cercanos en la isla del Cerrito (este de Chaco) y en el oeste del Paraguay.

Para el caso específico de la provincia de Formosa el inicio de la sedimentación de los grandes abanicos aluviales del Bermejo y Pilcomayo ser habría producido hacia fines del Oligoceno, asociados al primer ascenso de las Sierras Subandinas (fase Pehuenche de la orogenia Andina). Esta edad es similar a la de los primeros depósitos de la Formación Chaco. El lapso de tiempo durante el que progradaron estos cuerpos hacia el territorio formoseño es desconocido. Los depósitos marinos son correlativos con los momentos de mayor actividad orogénica (Fig. 17). Es posible la interdigitación entre los depósitos distales de los primitivos abanicos y los depósitos marinos en el subsuelo del oeste de

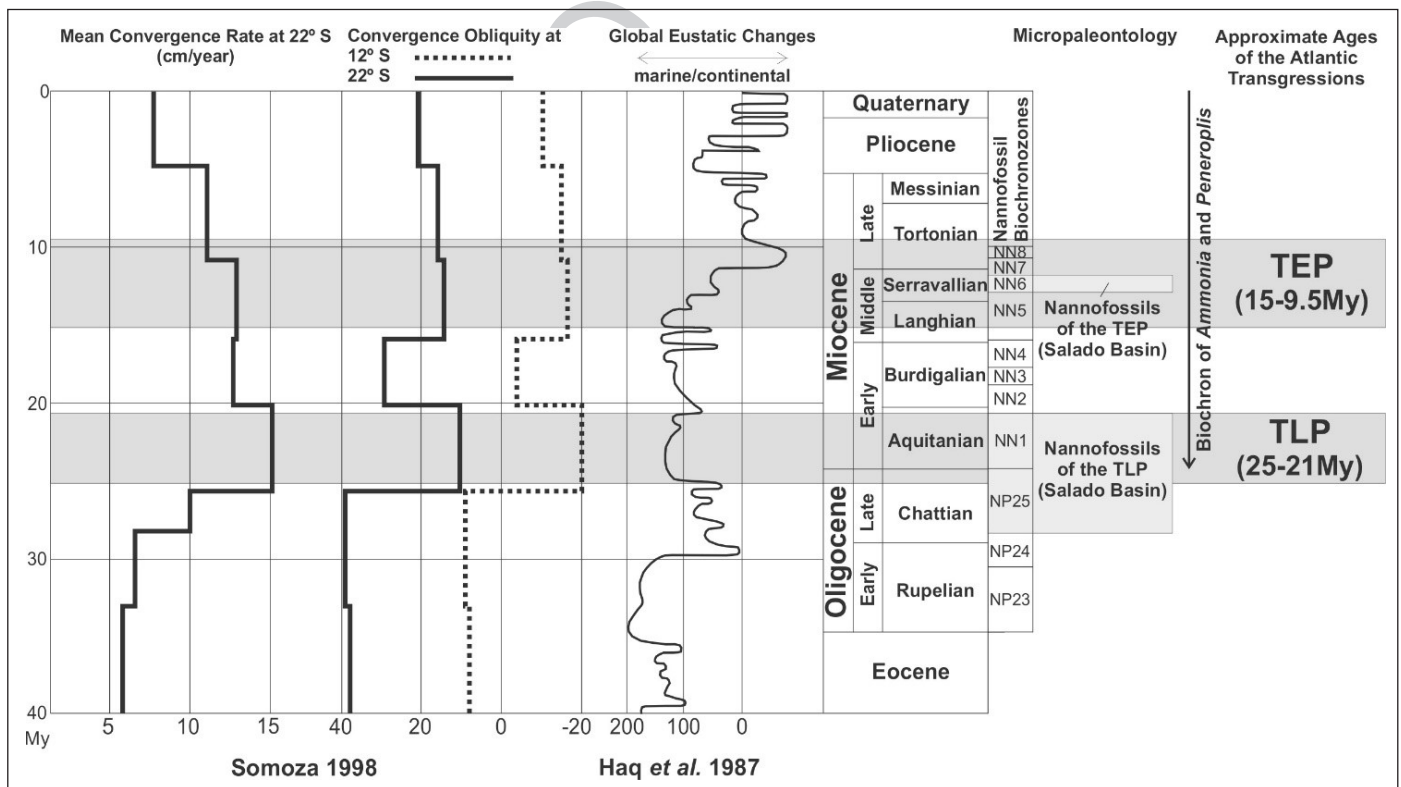


Figura 17. Las transgresiones miocenas en la cuenca Chacoparanense. Correlación entre la edad de los microfósiles calcáreos, la curva eustática global (Haq *et al.* 1987) y la tasa de convergencia y la oblicuidad entre las placas de Nazca y América del Sur (Somoza 1998). Según Marengo (2015).

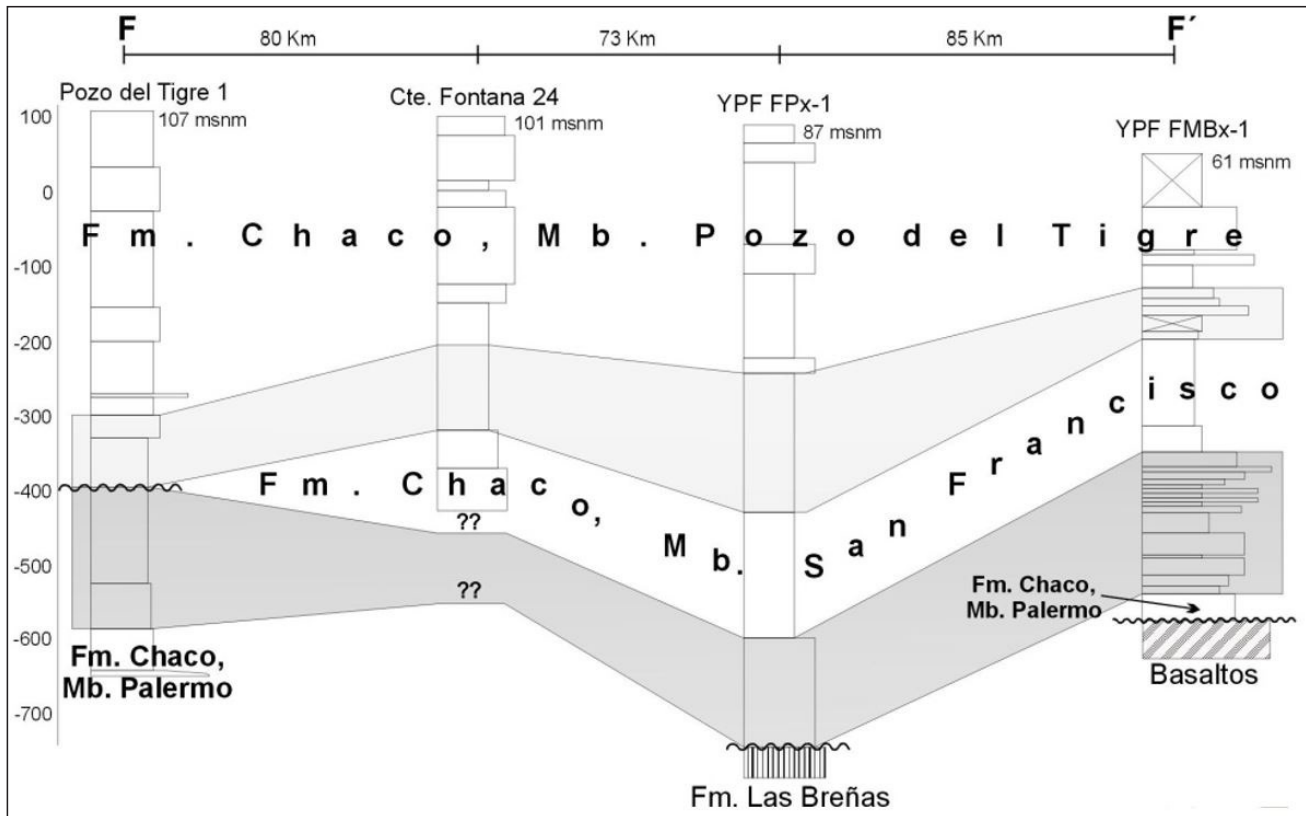


Figura 18. Corte estratigráfico entre el centro y este de Formosa. Gris oscuro, Transgresión de Laguna Paiva (TLP); gris claro, Transgresión Entrerriense-Paranense (TEP). Según Marengo (2015).

Formosa, pero no existen perforaciones que permitan verificarlo. Es importante destacar que, entre ambas transgresiones, los abanicos habrían alcanzado el río Paraguay (Fig. 18). Por último, sobre el techo de la Formación Paraná, durante los últimos 10 Ma, se depositó una cuña de sedimentos que disminuyó desde 400 hasta menos de 200 m, entre Pozo del Tigre y Mariano Boedo.

#### 4.2. UNIDADES AFLORANTES

Los depósitos aflorantes en Formosa son similares a los reconocidos en toda la región del Gran Chaco (Iriondo 2010). En líneas generales, se observan sedimentos pleistocenos y holocenos, de origen predominantemente fluvial y lacustre, procedentes de la intensa erosión a que fue sometida el área andina. Entre los sedimentos fluviales y palustres se intercalan en forma frecuente depósitos de origen eólico, como dunas y loess (Fig. 19).

En forma sintética, estos se pueden agrupar en:

Depósitos sedimentarios de los mega abanicos fluviales del Pilcomayo y Bermejo, con ápices en las sierras Subandinas de Bolivia y Salta. Desarrollados entre el Pleistoceno Tardío y comienzos del Holoceno.

Depósitos sedimentarios fluviales, palustres y eólicos indiferenciados que rellenan los paleocauces

del sistema de mega abanicos, formados desde Holoceno temprano, hasta la actualidad. Campos de dunas, intercalados con los anteriores; corresponderían a un período árido ocurrido entre 3.500 y 1400 años AP.

Depósitos recientes y actuales de las planicies aluviales de los ríos Bermejo, Pilcomayo occidental, Paraguay, y “riachos” del sector oriental.

##### 4.2.1. PLEISTOCENO TARDÍO-Holoceno TEMPRANO

###### *Sistema del río Pilcomayo: Depósitos antiguos del abanico (q4IP)*

**Sinonimia:** Serie Salto Palmar (Cordini 1947), Formación Fortín Soledad (Iriondo 2010), Depósitos Aluviales (P3/H1F1) (Baumann *et al.* 2002), Miembro Pozo del Tigre de la Formación Chaco (Marengo 2015).

*Definición, distribución y relaciones estratigráficas*

Estos depósitos, junto a los equivalentes del abanico del Bermejo, son los más antiguos que afloran en la provincia de Formosa, y constituyen la base de las unidades fluviales, palustres y eólicas más recientes. Son los niveles de sedimentos que se pueden observar en la base de las canchales viales, barrancas de los ríos, perforaciones someras

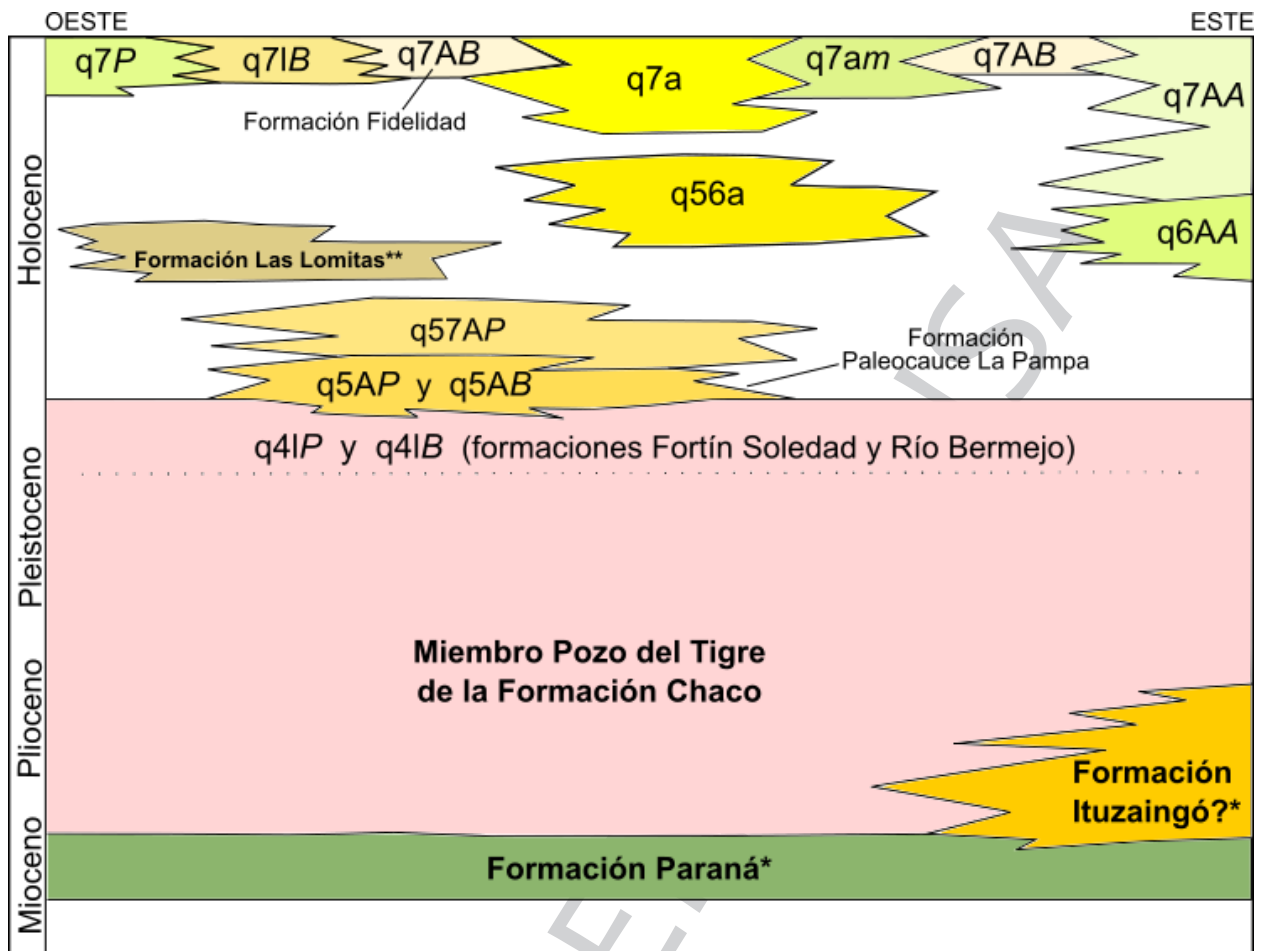


Figura 19. Esquema cronoestratigráfico de las unidades aflorantes y del subsuelo somero de Formosa; siglas según texto y mapa geológico; \* solamente en subsuelo, \*\* no representada en el mapa por su tamaño muy reducido.

o zonas con escasa depositación holocena o con deflación.

Su distribución coincide con la del mega abanico del Pilcomayo, aproximadamente los dos tercios septentrionales del territorio formoseño. Aflora extensamente en el centro y oeste provincial debido al escaso desarrollo de depósitos posteriores. En el este la unidad se halla muy cubierta por depósitos aluviales y palustres holocenos, o intensamente edafizada, sin embargo, mediante sondeos manuales o pozos someros es posible comprobar su existencia en las zonas elevadas.

La porción aflorante de la unidad, la parte superior del antiguo abanico, se habría depositado durante el Último Máximo Glacial (UMG) hacia finales del Pleistoceno (c. 12.000 años AP), cuando alternaron períodos húmedos con mayor desarrollo aluvial, y secos con mayor actividad eólica (3.2). Solamente se conocen unos pocos metros del techo de estos depósitos y no se tienen certezas sobre su espesor. Baumann *et al.* (2002) los describieron como “Depósitos aluviales (P3/H1F1)”, constituidos por sedimentos fluviales y eólicos retransportados, unidad en la que reunie-

ron todos los depósitos de los antiguos abanicos del Pilcomayo y Bermejo.

Según un punto de vista más regional y estratigráfico amplio, Marengo (2015) consideró que son la parte cuspidal del Miembro Pozo del Tigre de la Formación Chaco, unidad que se comenzó a depositar luego de la regresión del mar paranense, durante el Mioceno tardío, y que en forma aparentemente continua llegó hasta el Cuaternario. Es cubierta por los depósitos holocenos y los niveles edafizados actuales. En la figura 20 el perfil de la perforación Pozo del Tigre muestra una secuencia granocreciente para los más de 400 m superiores, que sugiere que se trata de un único ciclo sedimentario que representa la progradación del mega abanico del Pilcomayo hacia el este, con un paulatino avance de los cuerpos de arena (Baumann *et al.* 2002).

#### Litología

La unidad se compone de limos arcillosos y arenosos, generalmente de color castaño rojizo, masivos, y con frecuentes eflorcencias salinas. Baumann *et al.* (2002) analizaron los perfiles de algunas perforaciones realizadas en Ing. Guillermo N.

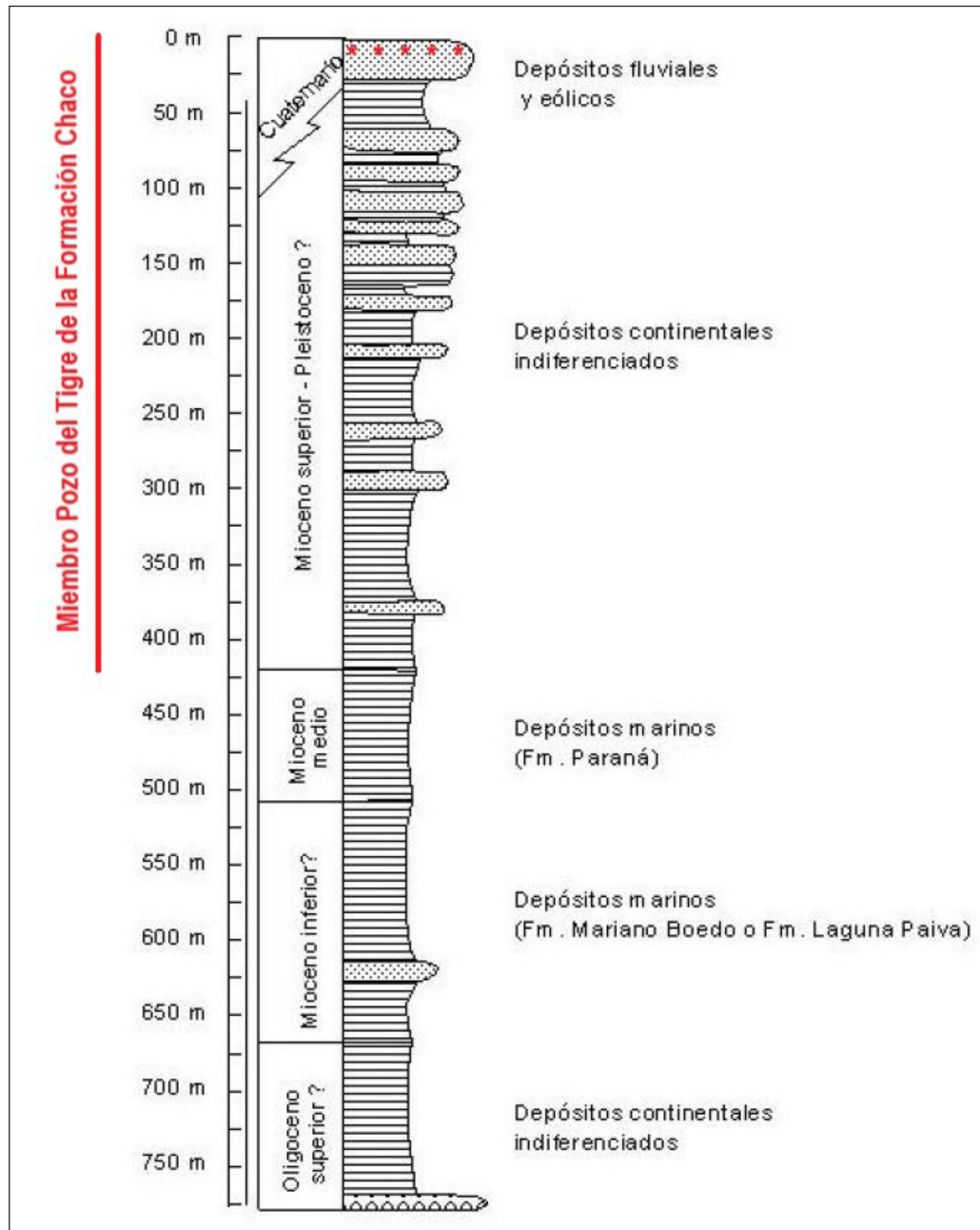


Figura 20. Perfil litológico esquemático de la perforación Pozo del Tigre; \*\*\* nivel conocido como Formación Fortín Soledad o Serie Salto Palmar. Modificado de Baumann *et al.* (2002).

Juárez, Las Lomitas, Pozo del Mortero y Comandante Fontana, y observaron una alternancia, hasta cerca de 200 m de profundidad, de bancos limo-arcillosos y areno-arcillosos de 3-10 m de potencia, y color dominante castaño a castaño rojizo, con esporádica aparición de bancos de arenas amarillas, arcillas grises y verdes, y margas.

#### *Paleontología y edad*

Se conocen hallazgos de vertebrados solamente en dos localidades en esta unidad, ambas en las barrancas del río Pilcomayo oriental. En el paraje Juntas de Fontana (25°S, 58°10'O, al este de Laguna Blanca), Tonni y Scillato-Yané (1997) hallaron restos de la tortuga acuática *Trachemys* sp., y los mamíferos

*Toxodon* sp. (Toxodontidae), *Macrauchenia* sp. (Macraucheniiidae), *Neosclerocalyptus* sp. y *Panochthus* cf. *P. tuberculatus* (Glyptodontidae), *Glossotherium* cf. *robustum* (Mylodontinae) y Felidae indet.; según los autores esta paleofauna posee afinidades ambientales con los niveles bonaerenses y lujanenses de la región pampeana. En Laguna Blanca, Alcaraz y Zurita (2004) describieron restos de la cornamenta del cérvido *Antifer* sp.

Baumann *et al.* (2002) tomaron tres muestras en niveles similares a estos, pero pertenecientes al mega abanico del Bermejo, en Presidencia Saenz Peña y Napenay, fuera del área mapeada, en Chaco. Las muestras fueron datadas por termoluminiscencia (TL/OSL) en la Universidad de Colonia, Alemania,

y dieron valores de  $29.6 \pm 7.4$  ka,  $40.4 \pm 10.7$  ka y  $22.3 \pm 2.0$  ka. Por su parte, Kruck *et al.* (2011) realizaron dataciones sobre dos muestras tomadas sobre el mega abanico del Pilcomayo, en el Chaco Paraguayo, pero no existe certidumbre sobre su correlación con esta unidad; estas muestras dieron edades TL  $12.3 \pm 1.5$  ka e IRSL  $12.1 \pm 2.6$  ka.

Sobre la base de esta información e interpretaciones paleoclimáticas, se estima una edad entre el Pleistoceno Tardío y comienzos del Holoceno, para los niveles aflorantes.

### **Sistema del río Bermejo: Depósitos antiguos del abanico (q41B)**

**Sinonimia:** Formación Río Bermejo (Iriondo 2010), Depósitos Aluviales (P3/H1F1) (Baumann *et al.* 2002), Miembro Pozo del Tigre de la Formación Chaco (Marengo 2015).

#### *Definición, distribución y relaciones estratigráficas*

Esto depósitos se pueden observar en la base de las canchales viales, barrancas de los ríos, perforaciones someras o zonas con escasa cobertura holocena o con deflación. Su distribución coincide con la del mega abanico del Bermejo, aproximadamente el tercio austral de la provincia. Aflora principalmente en el centro y oeste provincial, debido al escaso desarrollo de depósitos posteriores, y en la base de barrancas del río Bermejo-Teuco. En la zona oriental se halla cubierta por depósitos aluviales y palustres holocenos. Constituye la base de las unidades fluviales, palustres y eólicas más recientes, que la cubrieron o erosionaron en forma parcial.

Sus características litológicas, estratigráficas y ambientales, permiten asimilarlos con sus homólogos del abanico del Pilcomayo (q41P), al menos hasta que no se realicen estudios de detalle. Solamente afloran unos pocos metros del techo de estos depósitos y no se tiene certeza sobre su espesor. Desde el punto de vista estratigráfico la unidad fue denominada Formación Río Bermejo por Iriondo (2010), quien consideró que correspondía a depósitos de derrames del río Bermejo, durante la época seca y fría del Último Máximo Glacial, y la correlacionó con las formaciones Tezanos Pinto, Urundel y Fortín Tres Pozos. Por su parte, Baumann *et al.* (2002) y Marengo (2015) no encontraron elementos suficientes para distinguirlos de los depósitos correspondientes del abanico del Pilcomayo, y los asignaron a los Depósitos aluviales (P3/H1F1) y al Miembro Pozo del Tigre de la Formación Chaco, respectivamente.

#### *Litología*

Iriondo (2010) localizó el perfil tipo de la Formación Río Bermejo, en la base de la barranca del río Teuco, unos 25 km al sur de Las Lomitas. En ese sitio describió 2 m de limos arenosos amarillentos pobremente estratificados, correspondientes a facies de pantano, limos arcillosos gris oscuro con abundantes restos vegetales y laminación incipiente, relacionados a rellenos palustres, y limos arcillosos rojizos a verdosos con restos vegetales. El techo de la unidad es plano y pseudoconcordante con los depósitos suprayacentes de la Formación Fidelidad (q7AB).

Durante los trabajos de campo se pudo observar a esta unidad en numerosas localidades (Figs. 21 y 22), con similares características a las mencionadas por Iriondo (2010), aunque generalmente con tonalidades castaño rojizo. Los ensayos granulométricos permitieron observar que la textura es bastante uniforme, y varía entre limos medianos arenosos finos (mediana de  $30 \mu\text{m}$ ) a limos gruesos arenosos (mediana de  $45 \mu\text{m}$ ). Posee una laminación delgada y difusa formada por 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 y algo más limosa, que muestra diaclasas ortogonales.

#### *Contenido fosilífero*

En los últimos años se ha descubierto una serie de yacimientos paleontológicos en la margen izquierda del río Bermejo, en cercanías de Villa Escolar y General L. V. Mansilla, extremo SE de Formosa (Fig. 23). Representan hasta la fecha los principales hallazgos de vertebrados y restos vegetales de la región Chaqueña en Argentina. En numerosos artículos se presentaron estos hallazgos (Prevosti *et al.* 2005, Zurita *et al.* 2009 y 2014, Soibelzon *et al.* 2010, Bogan *et al.* 2012, Contreras 2009, Contreras y Lutz 2014, Contreras y Zucol 2019, Contreras *et al.* 2015), y fueron compendiados por Contreras *et al.* 2019, trabajo del que se extrae la lista completa de los fósiles conocidos hasta la fecha, y sus implicancias ambientales:

Peces: una pseudo anguila cf. *Synbranchus maromoratus* (Synbranchiidae)

Mamíferos: los armadillos gigantes *Pampatherium typum*, *Pampatherium* sp., *Holmesina pualacoutoi*, *Holmesina* sp. y Pampatheriidae indet. (Pampatheriidae), *Glyptodon* sp., *Neosclerocalyptus* sp., *Neosclerocalyptus* cf. *N. paskoensis* y Glyptodontidae indet. (Glyptodontidae); los armadillos *Propaopus* sp., *Chaetophractus* sp. y Dasypodidae indet. (Dasypodidae); los perezosos gigantes *Sce-*



Figura 21. Cantera vial 5 km al sur de la población Laguna Yema. La sección inferior rojiza corresponde a la Formación Río Bermejo (Iriondo 2010), compuesta por limo arenoso masivo y friable. Los depósitos superiores, más claros, se consideran correlativos de la Formación Fidelidad (q7AB).



Figura 22. Barranca del río Teuco a la altura de la antigua Misión Yacaré, cerca del límite con Salta. Formación Río Bermejo con estratificación difusa y capas con contenido salino; el punto rojo indica sitio de muestreo para  $^{14}\text{C}$ . La parte superior del perfil corresponde a la Formación Fidelidad (q7AB).

*lidotherium leptocephalum*, Mylodontidae indet. (Mylodontidae), *Megatherium* sp. (Megatheriidae); los ciervos *Morenelaphus* sp., cf. *Morenelaphus lujanensis*, *Hemiauchenia* sp., *Hemiauchenia paradoxa* y, Cervidae indet. (Cervidae); el guanaco o *Lama guanicoe*, *Lama* sp., Camelidae indet., *Artiodactyla* indet. (Artiodactyla); *Toxodon* sp. (Toxodontidae); el yaguareté o *Panthera onca* (Felidae); *Procyon* cf. *P. troglodytes* (Canidae); el aguará popé, mapache o *Procyon cancrivorus* (Procyonidae); el elefante Gomphoteriidae indet, y varios mamíferos indeterminados.

Microrrestos silíceos: espículas de Porifera (esponjas), frústulos de Bacillariophycaceae (diatomeas), fitolitos de la Familia Poaceae (gramíneas), entre ellos de las Subfamilias Panicoideae, Chloroideae, Ehrhatrodoideae y Pooideae. Mayores detalles en Contreras y Zucol (2019).

Microrrestos no silíceos: placas perforadas de la Familia Asteraceae y polen de las familias Poaceae y Asteraceae. Las asociaciones de vertebrados indican, en su mayoría, el predominio de ambientes abiertos, típicos de pastizales de zonas semiáridas, pero

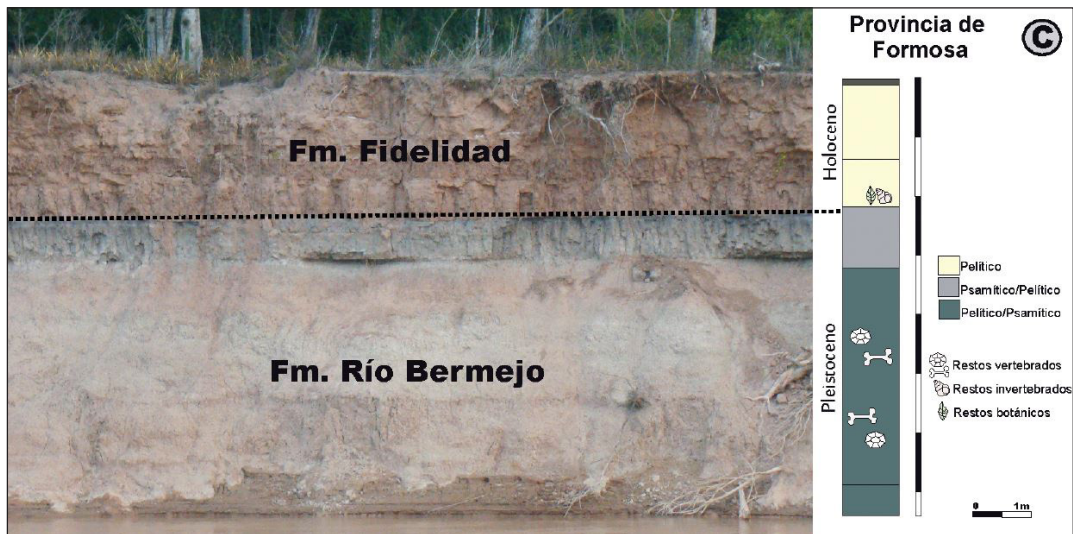


Figura 23. Perfil del río Bermejo en la zona de Villa Escolar (Contreras *et al.* 2019).

también algunas especies son propias de climas más húmedos y cálidos; el análisis tafonómico sugiere que todas proceden de depósitos de paleocauces, con evidencias de retransporte fluvial. Poseen una gran afinidad con las paleofaunas pampeanas de fines del Pleistoceno o, más precisamente, del estadio isotópico MIS 2 y probablemente principios del MIS 1.

Por su parte, la evidencia paleobotánica muestra un predominio del componente herbáceo, con gramíneas megatérmicas, desarrolladas mayormente bajo un clima cálido-templado y condiciones subhúmedas.

#### Edad

Zurita *et al.* (2014) realizaron dos análisis OSL en los afloramientos de Villa Escolar: una edad obtenida en la base del perfil dio un valor de  $92.2 \pm 9.65$  ka (miles de años) AP; la otra fue tomada en la parte media del perfil, en un nivel fosilífero, y se obtuvo un valor de  $84.0 \pm 8.82$  ka AP. En un nivel similar a la segunda muestra OSL se realizaron otras dos dataciones  $^{14}\text{C}$ : la primera dio un valor de  $9.57 \pm 0.09$  ka AP; la segunda, obtenida de una muestra tomada en la parte superior de la suprayacente Formación Fidelidad (q7AB), dió una edad  $^{14}\text{C}$  de 0 a 200 años.

Es frecuente la disparidad de resultados entre las dataciones por medios ópticos y por  $^{14}\text{C}$  en los depósitos pleistocenos en la región Chacopampeana. Por ejemplo, dos muestras tomadas en la Formación Paleocauce La Pampa, labrados sobre esta unidad, fueron estudiadas por IRSL, y dieron edades de  $12.4 \pm 2.2$  y  $11.8 \pm 0.8$  ka AP (Baumann *et al.* 2002, Kruck *et al.* 2011).

Durante los trabajos de campo de este proyecto, se tomó una muestra en arcillas carbonosas, localizadas en la zona contacto entre la Formación Río Bermejo y la Formación Fidelidad (q7AB), en la

costa del río Teuco en cercanías a Misión Yacaré (Fig. 22). El análisis  $^{14}\text{C}$  realizado en el Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad Federal Fluminense, dio un valor de  $12.032 \pm 95$  años AP, que se considera ajustado a la interpretación de la secuencia estratigráfica histórica ya que indicaría la transición al Holoceno de los sedimentos superiores.

#### 4.2.2. HOLOCENO TEMPRANO

##### *Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de paleocauces antiguos (q5AP)*

**Sinonimia:** Formación Paleocauce La Pampa (Iriondo 2010), Depósitos de paleocauces (H1/2FA, Baumann *et al.* 2002).

##### *Descripción, distribución y relaciones estratigráficas*

En el sector del abanico del Pilcomayo, entre los  $62^{\circ}20'0$  hasta aproximadamente los  $60^{\circ}30'0$ , existen numerosos cauces sin escurrimiento, y parcial o totalmente colmatados con sedimentos, labrados sobre la superficie de los depósitos del antiguo abanico. Se destacan de los cauces actuales, por sus mayores dimensiones, escasez de cobertura arbórea y relleno arenoso, que se manifiesta en un marcado contraste en las imágenes satelitales. Representan antiguas posiciones del río Pilcomayo, identificables por su ancho y sus diseños fluviales de tipos entrelazado, *wandering* (divagante) y meandriforme. Se encuentran en depresiones de hasta unos 5 m con respecto al terreno circundante. El relleno se compone de arena, con menor cantidad de finos que otros depósitos de la zona. Una disminución del escurrimiento o mecanismos de avulsión habría provocado que estos

cauces quedaran inactivos y se fueran colmatando progresivamente por sedimentación eólica. Algunos de estos paleocauces pueden ser ocupados por cuerpos de agua semi-permanente, formando esteros o pastizales. Al tratarse de depósitos sedimentarios con buena permeabilidad constituyen reservorios de agua subterránea de escasa capacidad, utilizados con frecuencia para la hacienda.

Al sur de Ing. Guillermo N. Juárez, en los alrededores de Laguna Yema, y en el norte y noroeste de Las Lomitas los paleocauces descritos conservan más claramente su morfología original. En esta última zona Iriondo (2010) realizó una perforación manual de 4,5 m en los sedimentos del cauce, sin llegar a su base, columna que definió como perfil tipo de la Formación Paleocauce La Pampa. Baumann *et al.* (2002) estudiaron los paleocauces de esta misma zona, y los llamaron Depósitos de paleocauces (H1/2FA) los que, según datos recabados de perforaciones ferroviarias, poseen espesores de 7 a 10 metros.

#### Litología

El perfil tipo, definido por Iriondo (2010), comienza con 2,5 m de arena cuarzosa muy fina, rojiza, compacta, compuesta de 51% de cuarzo, 22% de ortosa, 18% de óxidos de hierro, y 7% de plagioclasa; luego siguen 0,5 m de un sedimento similar, menos compacto; la columna culmina con 1,5 m arena fina limpia y suelta, rojo amarillento.

Sobre la ruta nacional 81, 6 km al este de Las Lomitas, Baumann *et al.* (2002) describieron las paredes de una cantera donde hallaron arenas castaño amarillentas, con estratificación entrecruzada, laminación paralela y pequeños bancos arcillosos

intercalados (Fig. 24). En otra cantera cercana hallaron arenas finas castaño claras, cubiertas por arenas finas grises en contacto neto, ambas masivas.

#### Edad

Iriondo (2010) estimó una edad holocena para estos depósitos, en base a su posición estratigráfica. Baumann *et al.* (2002) tomaron dos muestras a 3,4 y 2,05 m bajo el nivel del suelo, en sedimentos arenosos de una cantera cercana a Las Lomitas, que fueron datadas por termoluminiscencia, con resultados de  $11.8 \pm 0.8$  ka (IRSL blue) para la muestra inferior y  $12.4 \pm 2.2$  ka (IRSL blue) para la superior. Estas edades sugieren que fueron cauces labrados en forma póstuma sobre los depósitos pleistocenos, en las condiciones semiáridas que caracterizaron el límite Pleistoceno-Holoceno.

#### 4.2.3. HOLOCENO TEMPRANO A TARDÍO

##### *Sistema del río Bermejo: Depósitos de paleocauces (q57AB)*

**Sinonimia:** Depósitos de paleocauces (H1/3FA1) y Depósitos fluviales de pantanos laterales (H1/3Fal) (Baumann *et al.* 2002).

Al suroeste de Formosa se encuentran algunos cauces total o parcialmente colmatados y normalmente secos, aunque pueden tener algo de agua en temporadas húmedas. Estos cauces forman valles principales profundos, excavados en la superficie del mega abanico. El río Teuquito es el más moderno, y es incluido en la unidad q71B.



Figura 24. Estratificación en depósitos arenosos de paleocauces; cantera 6 km al este de Las Lomitas. Tomado de Baumann *et al.* (2002).

Al este de la laguna Yema se observa una compleja faja de meandros abandonada de hasta 3 km de ancho y más de 100 km de longitud, que probablemente constituía la continuación del cauce del Teuquito, en una posición algo más antigua que la actual (Fig. 25). Al norte de la laguna Yema, cerca de la población homónima, se observan algunos remanentes de fajas de meandros de grandes dimensiones, con relleno arenoso superficial, similares y lindantes con los depósitos de la unidad q5AP. No se observaron detalles sobre la composición de estos depósitos, pero su posición en el paisaje y su aspecto en imágenes satelitales permiten homologarlos a los paleocauces descritos en el abanico del Pilcomayo (q5AP y q57AP). Aunque no existe información al respecto, también su edad se considera equivalente, en forma amplia, a los depósitos de paleocauces del Pilcomayo, es decir Holoceno temprano a tardío.

Baumann *et al.* (2002) los separaron en dos unidades. Los Depósitos de paleocauces (H1/3FA1), corresponden a las facies de canales y albardones, con litologías arenosas finas y limosas, que forman un paisaje ondulado. Los Depósitos fluviales de pantanos laterales (H1/3FA1) forman áreas planas adyacentes a los paleocauces y están compuestas por sedimentos arcillo limosos con cristales de yeso (Fig. 25).

#### **Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de paleocauces (q57AP)**

**Sinonimia:** Depósitos de paleocauces meandriformes (H3/4FA11) (Baumann *et al.* 2002),

Depósitos de paleocauces (H3/4FA12) (Baumann *et al.* 2002).

Esta unidad es similar a q5AP, pero los ambientes fluviales habrían sido activos durante más tiempo. Apparently, sobre los paleocauces arenosos más deprimidos se encauzó el drenaje local durante parte del Holoceno y, en algunos casos, pueden ser activos en la actualidad en épocas de exceso de lluvias. Esta actividad fluvial holocena enmascaró parcialmente los depósitos arenosos antiguos, sobre los que se instalaron fajas de meandros muy divagantes y de diferentes dimensiones.

Se distribuyen principalmente en una amplia faja de rumbo sureste, localizada entre el bañado La Estrella y la ruta nacional 81. Esta faja posee un ancho de entre 5 y 10 km lo que sugiere que en algún momento alojó un río de gran tamaño, comparable al Pilcomayo occidental actual. Baumann *et al.* (2002) los dividieron en dos unidades (H3/4FA11 y H3/4FA12), pero por razones de escala fueron agrupados en una única unidad estratigráfica en este trabajo.

No se conoce su espesor máximo, pero en una perforación en Pozo de los Chanchos se atravesaron 14 m de arenas finas rojizas, sin alcanzar su base. Según Baumann *et al.* (2002) predominan las arenas, con niveles de sedimentos finos castaños, litologías típicas de facies de canal, barras en espolón, albardones y lagunas.

Para su ubicación estratigráfica se sigue la propuesta de Baumann *et al.* (2002), que los consideró depositados entre el Pleistoceno y el Holoceno medio o tardío.

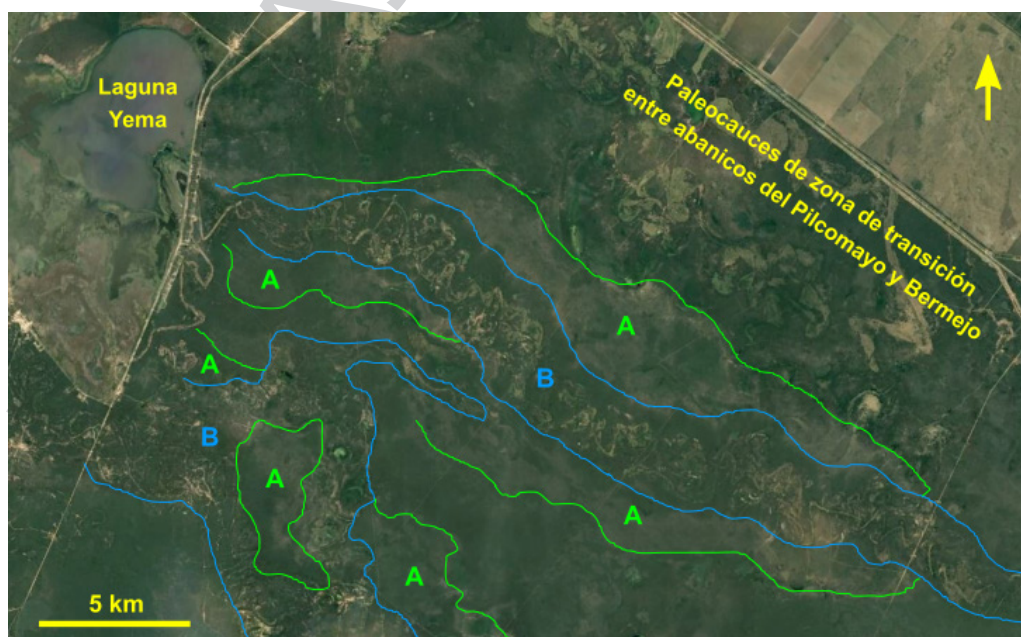


Figura 25. Facies de los paleocauces del Bermejo, según la división de Baumann *et al.* (2002). A: pantanos laterales, B: canales y albardones. Imagen Google Earth, julio 2020.

### ***Sistema del río Paraguay: Depósitos antiguos de la planicie aluvial (q6AA)***

El río Paraguay tiene una historia muy antigua y se desconocen los espesores y las características de sus depósitos más antiguos. En imágenes satelitales se identifican dos niveles de depósitos de su planicie aluvial, q6AA y q7AA; la preservación de sus rasgos superficiales permite estimar que ambos pertenecen al Holoceno.

La unidad q6AA tiene rasgos muy similares a q7AA (4.2.4), pero es más antigua y localizada en un nivel topográfico superior, unos 5 m más elevado. Forma una terraza parcialmente erosionada formada por una antigua planicie aluvial, localizada inmediatamente al oeste de los depósitos de la planicie aluvial actual del río Paraguay. Sus depósitos no fueron observados en el campo, pero en imágenes satelitales se puede distinguir las típicas asociaciones de barras laterales, lagunas elongadas y pantanos laterales, razón por la que se estima que corresponde a depósitos arenosos, con intercalación de facies finas, y con elevado contenido de materia orgánica. La preservación de su morfología original nos permite suponer que su origen corresponde a una etapa inmediatamente anterior a la formación de la faja fluvial actual activa, por lo que ubicamos la unidad a mediados del Holoceno.

### ***Depósitos de la planicie aluvial de riachos (q56a)***

#### *Descripción, distribución y relaciones estratigráficas*

Como se mencionó en 2.2 y 3.5, el sector oriental de Formosa (Fig. 4) posee características hidrológicas y geomorfológicas particulares, con respecto al área oriental y occidental. En la región oriental se

observa una densa red hidrográfica de ríos y riachos muy divagantes que escurren hacia el río Paraguay. Son cauces profundos en su mayoría, con albardones muy marcados en los que se desarrolla una densa vegetación (Fig. 26). Cuando se inicia el período de precipitaciones, a partir de la primavera, los albardones son desbordados rápidamente provocando la inundación de las llanuras laterales (Fig. 14).

En los riachos de mayores dimensiones, se pueden identificar amplias zonas planas y levemente deprimidas, que corresponden a antiguas fajas aluviales (3.5, Fig. 15), en cuyo interior se desarrollan las fajas aluviales activas en la actualidad, de dimensiones mucho menores. Estos valles desproporcionados corresponderían a fajas de meandros desarrollados en un período del Holoceno con condiciones de mayor temperatura y humedad que el actual. De acuerdo con Cucchi (1973) corresponderían a los climas existentes hace 8000 a 4000 años. Los depósitos de ambas fajas, las actuales (q7a) y las pretéritas (q56a), poseen cuerpos sedimentarios similares, como facies de barras en espolón, relleno de lagunas en media luna, albardones y pantanos laterales.

En el campo es difícil identificar los depósitos correspondientes a cada período, aunque en algunos casos se pudieron observar suelos enterrados que permitieron asignar el perfil a la unidad q56a. En las barrancas del riacho Pilagá (Fig. 27) un perfil de unos 2,5 m de altura, permitió observar dos niveles de arena arcillosa con gradación normal a limo arcilloso, separados por un suelo enterrado con raíces y cutanes. Esta unidad puede mostrar tanto fajas de meandros abandonados de diversas dimensiones, como áreas planas colmatadas de sedimentos, donde se desarrollan pastizales inundables, con las típicas comunidades de palmeras caranday.



Figura 26. Cruce de riachos con la ruta nacional 95. Izquierda: El Porteño; derecha: Monte Lindo.



Figura 27. Perfil en la costa del riacho Pilagá, a la altura de la ruta provincial 3. Nivel de paleosuelo indicado por la línea roja, que posiblemente separe las unidades q56a y q7a.

#### 4.2.4. HOLOCENO TARDÍO

##### Depósitos eólicos del Holoceno tardío\*

\* No representados en el mapa por su escaso tamaño

**Sinonimia:** Formación Las Lomitas (Iriondo 2010).

En varios sectores del oeste de Formosa y oriente de Salta, existen acumulaciones arenosas vinculadas a geformas de dunas. La ubicación estratigráfica de las acumulaciones eólicas en la región chaqueña es difícil de establecer con precisión, ya que a lo largo del Cuaternario ocurrieron diversos episodios de esta naturaleza, cuya cronología aún no es completamente conocida. No se han observado en Formosa niveles de sedimentación eólica con continuidad regional como para conformar horizontes referenciales de la evolución climática de la región. Las acumulaciones observadas y reconocidas por su morfología y textura se encuentran dispersas y en muchos casos modificados por la acción antrópica.

El sitio más representativo de estos depósitos se encuentra en la localidad de Las Lomitas (24°42'26''S, 60°35'40''O), cuyo nombre se refiere

a la existencia de médanos que sobresalían hasta 8 m, sobre la llanura aluvial circundante. El área de médanos tenía una extensión de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> pero ha sido casi totalmente alterada por la urbanización (Fig. 28). Los médanos han sido receptores de acuíferos de agua dulce que favorecieron la instalación de una estación ferroviaria, en torno a la cual se formó una población estable, a partir de 1914.

##### Litología

Iriondo (2010) localizó el perfil tipo de la Formación Las Lomitas en una pequeña cantera (inexistente en 2015) localizada en la intersección de las calles Newbery y Uruguay, en el borde sur de la localidad de Las Lomitas. El perfil fue complementado con información obtenida con un barreno manual, y alcanzó los 7 m de desarrollo vertical. Los primeros 3,7 m están compuestos por arena cuarzosa fina a muy fina, bien seleccionada, amarillo rojizo, y continúa con 3,3 m de una arena muy similar, algo más suelta y con numerosas cuevas de mamíferos pequeños y aves. Las dunas se apoyan sobre depósitos fluviales del Holoceno o se interdigitan con los mismos.



Figura 28. Loma arenosa en Las Lomitas (calle Newbery, vista al noroeste) muy modificada por la traza urbana (izquierda). Pozo para toma de muestra en parte superior de la loma (derecha).

### Edad

No existe información objetiva sobre su edad. Iriondo (2010) estimó que su depositación tuvo lugar durante el Holoceno tardío, entre los 3.500 y 1.400 años AP, según inferencias paleoclimáticas.

### Sistema del río Paraguay: Depósitos modernos de la planicie aluvial (q7AA)

El río Paraguay forma una amplia faja fluvial con meandros abiertos que poseen radios entre 1 y 2,5 km, que ocupan toda la llanura aluvial activa. Los meandros muestran un equilibrio con el ancho de la faja fluvial, lo que indicaría que se encuentran en este tramo en un estado maduro de su desarrollo. Desde unos 75 km al sur de Asunción, en la República del

Paraguay, hasta la desembocadura en el río Paraná, la costa paraguaya está formada por el paleoabánico del Paraná. Las barras arenosas generan un leve control litológico en el cauce del río Paraguay, donde se generan los mayores meandros hacia la costa de Formosa. En la margen oriental, más deprimida, se encuentran zonas de pantanos y praderas más recientes y se generan las mayores áreas inundables (Fig. 29). El este de Formosa se encuentra levemente más elevado que la costa paraguaya, debido a los depósitos de los abanicos aluviales o a los depósitos de la planicie aluvial antigua (q6AA).

La planicie aluvial actual del río Paraguay está formada por islas y barras laterales de composición principalmente arenosa, depósitos de decantación en lagunas elongadas y semilunares y pantanos la-

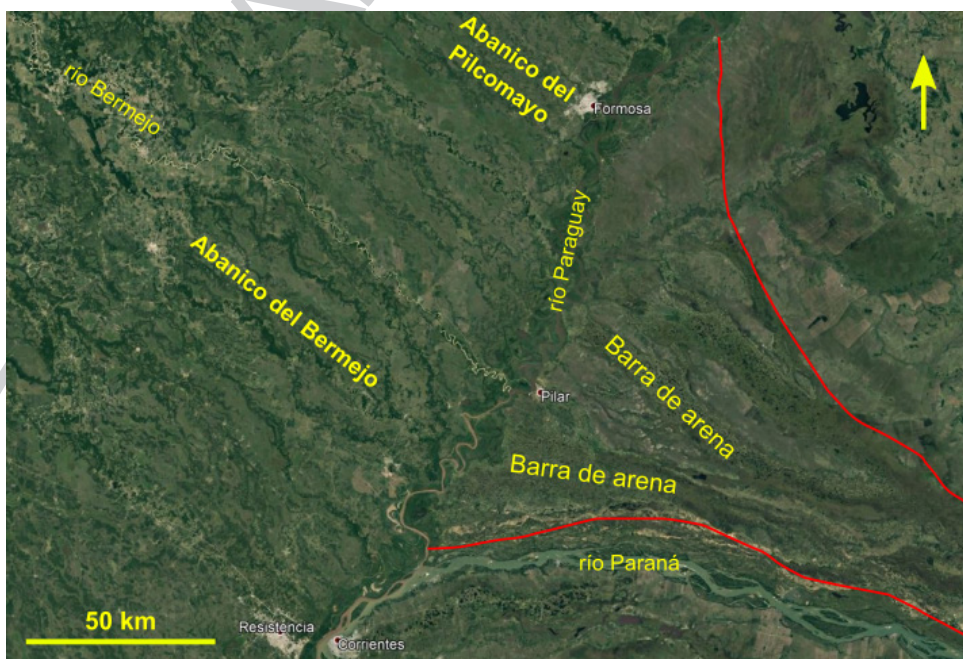


Figura 29. Límite aproximado del sector paraguayo del paleoabánico del Alto Paraná, en rojo. Imagen Google Earth, julio 2020.

terales. Este tipo de sistema forma acumulaciones ligeramente estratificadas, donde alternan bancos de arena amarillenta bastante limpia, con bancos de arcilla arenosa a limosa, de colores oscuros, y con elevado contenido de materia orgánica (Fig. 30). No se conocen dataciones de estos depósitos, pero su morfología guarda relación con la faja fluvial principal, por lo que se consideran originados durante el actual régimen climático.

#### ***Sistema del río Pilcomayo: Depósitos de cauces abandonados (q7P)***

**Sinonimia:** Depósitos fluviales y palustres, H4Fal2 (Baumann *et al.* 2002).

Esta unidad corresponde a los depósitos de un gran cauce abandonado del río Pilcomayo occidental inundado, en forma total o parcial, por el bañado La Estrella. Actualmente permanece inundado casi todo el año debido a una regulación artificial desde que se construyó el terraplén de la ruta provincial 28. Tiene una extensión de unos 180 km de largo y un ancho máximo de 15 kilómetros. Sobre la composición de su relleno, Baumann *et al.* (2002) mencionaron que en el sector noroeste predominan las arenas y limos fluviales depositados por derrames del Pilcomayo occidental. En zonas periféricas y hacia el este predominan limos y arcillas de colores grisáceos y

verdosos, con estructura laminar o masiva y abundante materia orgánica, depositados en ambientes de lagunas y bañados. Corresponden a sedimentos de decantación de una zona deprimida correspondiente a una faja recientemente abandonada del Pilcomayo.

#### ***Depósitos modernos de la planicie aluvial de riachos (q7a)***

Junto a la unidad q56a constituye un continuo de depósitos relacionados a ambientes aluviales de baja energía, como sistemas de arroyos meandriformes, pantanos laterales, cañadas y bañados. Durante períodos muy lluviosos, anuales o plurianuales, se producen desbordes que pueden inundar zonas laterales amplias. Corresponden a depósitos de canales y albardones en los que se puede observar una estratificación muy grosera entre niveles de arena limosa y arcilla limosa, o niveles con gradación normal; los bancos de material fino suelen contener una elevada proporción de materia orgánica.

#### ***Depósitos de bañados y cañadas (q7am)***

Se identifican con este nombre a los riachos del sector oriental que se encuentran colmatados de sedimentos, cubiertos por vegetación y, por lo tanto, no poseen un cauce definido. Su superficie se encuentra



Figura 30. Planicie aluvial actual del río Paraguay en Puerto Pilcomayo; sitio de muestreo en punto amarillo. Imagen Google Earth, julio 2020.

parcial o completamente cubierta por comunidades de plantas acuáticas, principalmente vegetación enraizada al fondo o flotante, como repollo o lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y camalotes (*Eichhornia crassipes*), la que se puede movilizar en forma masiva durante períodos de crecientes. Se desarrollan principalmente al este de los 59°O, en un sector en que la pendiente regional se hace plana a cóncava, antes de alcanzar el nivel de base en el río Paraguay.

Son depósitos muy relacionados a la unidad q7a, de los que en ocasiones es difícil separarlos; es común observar riachos con tramos que se transforman en bañados, por una leve disminución local de la pendiente. También, se pueden encontrar bañados en las cabeceras de los riachos o de sus pequeños afluentes. Son fácilmente identificables en las imágenes satelitales por la falta de definición en el trazado, con bordes muy suavizados en comparación con los cauces activos. No se observó el tipo de material que los rellena, pero debido a su escasa dinámica, deben ser receptores de sedimentos finos, con abundante materia orgánica e intensamente edafizados. Son depósitos correspondientes a las condiciones climáticas actuales.

#### **Sistema del río Bermejo: Depósitos de la planicie de divagación del Teuquito-Bermejito (q71B)**

**Sinonimia:** Depósitos de paleocauces (H1/3FA1) (Baumann *et al.* 2002).

Esta unidad corresponde a los depósitos del paleocauce más moderno del río Bermejo. Forma una faja de más de 250 km de longitud al norte del Bermejo, en la posición que ocupaban los ríos Bermejito y Teuquito hace pocos siglos.

Baumann *et al.* (2002) incluyeron todos los depósitos de paleocauces del Bermejo en su unidad H1/3FA1, pero desde una perspectiva regional más amplia, es posible identificar dos grupos de diferente edad, como q57AB y los expuestos acá.

Forman una delgada faja paralela al cauce actual del Bermejo, en la mitad occidental de la provincia. Se pudo acceder a la zona en dos sitios, a la altura de Ing. Guillermo N. Juárez, y en el extremo suroeste de la provincia; en ambos casos el cauce se encuentra inciso los depósitos antiguos del abanico (unidad q41B), y corrió unos dos metros por debajo de su superficie. Los depósitos del paleocauce y del cauce actual del Teuquito corresponden a facies de un canal divagante muy poco evolucionado, de baja energía, con una planicie de inundación escasamente desarrollada, principalmente compuestos por limo arcilloso proveniente del retrabajo de la unidad q41B.

#### **Sistema del río Bermejo: Depósitos de la planicie aluvial actual (q7AB)**

**Sinonimia:** Formación Fidelidad (Iriondo 2010), Cauce actual del río Bermejo (Iriondo 2010), Depósitos de planicie aluvial y terrazas (H4Fa11) (Baumann *et al.* 2002), Depósitos de faja de meandros (H4FA12) (Baumann *et al.* 2002).

En esta unidad se agrupan, por razones de escala, los depósitos actuales de la faja de meandros, de la planicie aluvial y terrazas holocenas del río Bermejo-Teuco. Forman una faja de 5 a 8 km de ancho en el límite entre las provincias de Formosa y Chaco.

Los depósitos de planicie aluvial y terrazas fueron llamados Formación Fidelidad por Iriondo (2010), quien los definió como relleno de paleocauces del Bermejo, abandonados por avulsión durante el Holoceno y el presente. Este autor estableció el perfil tipo en la sección cuspidal de las barrancas del Bermejo a la altura de Las Lomitas. Este perfil tiene un desarrollo de 2,2 m de espesor, y está compuesto por limo arcilloso gris, en partes laminado, con fragmentos vegetales, cohesivo, con 43% de cuarzo, 40% de illita y 15% de caolinita. La parte superior es amarillenta con algo más de arena y más friable, masiva o con laminación difusa, con numerosas raíces fósiles y actuales, fragmentos vegetales y hormigueros. Por su parte, Baumann *et al.* (2002) incluyeron estos depósitos en su unidad H4Fa11, y consideraron que las facies limo-arcillosas se depositan por acreción vertical durante las grandes crecidas del río (albardones y llanura de inundación); las facies arenosas se depositan en la planicie de inundación por la ruptura del albardón y los derrames provenientes del canal (canales y lóbulos de desbordamiento). En la llanura de inundación también señaló la presencia de lagunas semilunares con relleno de arcillas y materia orgánica. Ambos trabajos coinciden en el carácter moderno de estos depósitos, ya que empezaron a formarse durante el Holoceno y continúan en la actualidad.

Baumann *et al.* (2010) agruparon, en forma separada, a los depósitos más modernos de la faja de meandros del río Bermejo bajo la denominación de H4FA12. En su composición predominan sedimentos arenosos y arcillo limosos, de barras en espolón (*point bar*) y albardones. Por otra parte, los limos y arcillas con elevado contenido de materia orgánica, fueron asignados a pantanos laterales, cubiertos en ocasiones por arenas aportadas durante derrames laterales (*crevasse-splay*). Iriondo (2010) indicó que estos sedimentos están formados casi exclusivamente por cuarzo e illita, con una muy importante

cantidad de detritos vegetales, principalmente troncos y ramas de palo bobo. Su edad es reciente y su formación se encuentra activa.

### 4.3. ESTRUCTURA

La geología profunda de la provincia de Formosa está relacionada con la evolución de la cuenca de Paraná, mientras que desde el Cretácico y Paleógeno fue parte del antepaís andino. Las unidades y ciclos estratigráficos mencionados en 4.1.1 se corresponden con eventos tectónicos específicos que, en forma general, se pudieron relacionar con la dirección de los principales lineamientos estructurales observados mediante la prospección geofísica.

La exploración sísmica y gravimétrica ha reconocido en el subsuelo de Formosa los principales elementos estructurales que delimitan las cuencas sedimentarias paleo y mesozoicas, conocidos como

dorsal de El Caburé, alto Pampeano-Chaqueño o alto de Charata-Avia Terai, alto de Asunción y dorsal de Asunción-Río Grande, para los elementos positivos, y como subcuenca Lomas de Olmedo, y cuenca o hemigraben Las Breñas, entre los depocentros (Fig. 31; basado en Chebli *et al.* 1999, Rossello *et al.* 2006). La escasa y heterogénea densidad de la información disponible dificulta la determinación precisa de los elementos estructurales (Chebli *et al.* 1999), por lo que existen algunas divergencias sobre su nomenclatura y orientación.

Las estructuras mencionadas para la provincia de Formosa poseen lineamientos en dos sentidos principales.

Las estructuras mencionadas de altos, bajos y lineamientos, habrían influido en la evolución de la sedimentación neógena y cuaternaria, y podrían ejercer algún control en los sectores de modelado geomorfológico considerados en el capítulo 3.

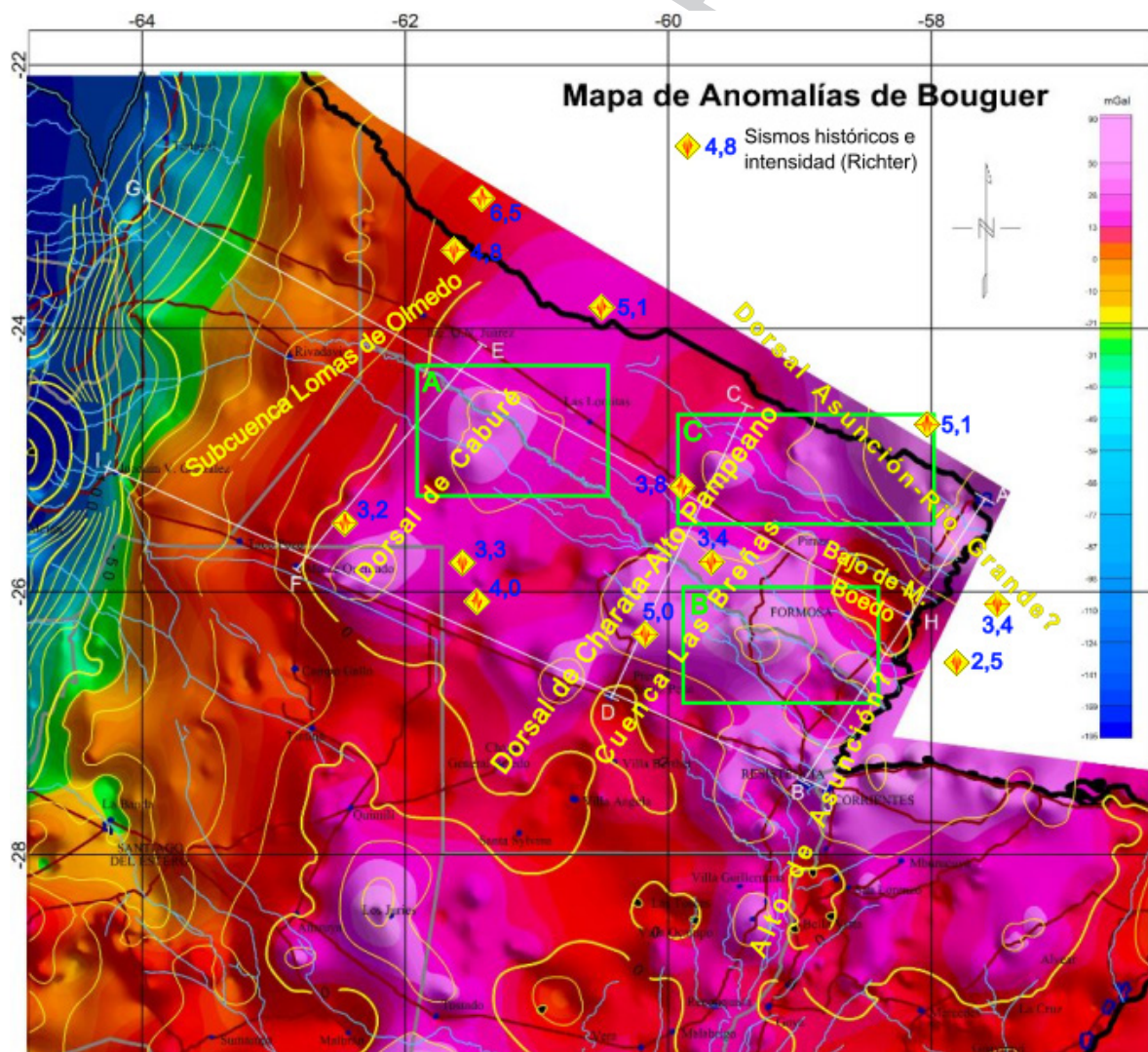


Figura 31. Mapa de anomalías de Bouguer de la región Chaqueña, a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) procesados por G. Ramé. Se ubican las principales estructuras descriptas, y los sismos históricos del cuadro 1.

Región	Localidad cercana	fecha	latitud	longitud	prof (km)	intensidad
Chaco	Tres Isletas	08/02/1983	-26,285	-60,196	33	5,0
	Monte Quemado	21/03/2019	-25,569	-62,561	231	3,2
	Los Frentones	30/09/2017	-25,954	-61,477	329	4,0
	Los Frentones 2	30/09/2017	-25,819	-61,643	62	3,3
Formosa	Pescado Negro	09/08/2012	-23,399	-61,643	585	4,8
	Palo Santo	08/08/2015	-25,784	-59,530	72	3,4
	Comandante Fontana	09/07/2017	-25,351	-59,894	342	3,8
Paraguay	Quiindy	25/10/2013	-25,972	-57,364	11	3,4
	Ñeembucú	25/03/2016	-26,529	-57,841	21	2,5
	Naick Neck	08/04/1982	-24,795	-58,096	34	5,1
	Puesto Horqueta	12/04/1985	-23,944	-60,553	25	5,1
	Palmar	28/02/1989	-23,113	-61,465	569	6,5

Cuadro 1. Sismos históricos registrados en la provincia de Formosa y áreas vecinas, según datos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Ver ubicación en la figura 42.

#### 4.4. HISTORIA GEOLÓGICA

La provincia de Formosa se localiza en el extremo norte de la Llanura Chaco Pampeana en la actualidad, aunque desde un punto de vista cronológico más amplio, está constituida por terrenos y procesos muy antiguos, vinculados al origen de la parte austral de América del Sur. Si bien existen dudas sobre los límites precisos, su porción oriental se asienta sobre rocas precámbricas del Cratón del Río de la Plata, y hacia el centro se encontraría el contacto con terrenos acrecionados desde el oeste, con el margen occidental del continente Gondwana. Estas acreciones se produjeron entre fines del Precámbrico y el Paleozoico temprano, y produjeron períodos de compresión y extensión, con la formación de altos estructurales y depocentros, con direcciones SSO-NNE a SO-NE predominantes.

La columna estratigráfica muestra una gran variación de ambientes y paisajes durante la evolución estructural y paleogeográfica reseñada. Así, en relación al ciclo Pampeano, la acreción del terreno Pampia en el margen oeste de Gondwana formó cuerpos graníticos como los que se conocen en el alto de Asunción o en el subsuelo de Mariano Boedo. El volcanismo fue muy activo, con lavas e ignimbritas en el oriente paraguayo; la sedimentación marina se incrementó hacia fines del Proterozoico, donde además se registró un episodio de glaciación, en relación con la posición polar del oeste de Gondwana.

Hacia fines del Cámbrico comenzó la Orogenia Famatiniana. La acreción de terrenos en el oeste del continente generó ambientes extensionales hacia el este, y se formaron los depocentros iniciales de la Cuenca de Paraná (Rift Central) y, localmente,

la subcuenca Las Breñas. Posteriormente, cesó la actividad ígnea en toda la región hasta fines del Mesozoico. En la región Chacoparanense, dominaron los ambientes marinos profundos: entre fines del Cámbrico y el Ordovícico se depositaron las formaciones Árbol Blanco, Pirané y Las Breñas en toda la región Chaqueña. Durante el Silúrico y Devónico continuó la subsidencia en la región Chaqueña y dominaron ambientes marinos profundos; las unidades representativas son las formaciones Zapla, Copo, Caburé y Rincón.

Desde el punto de vista paleoclimático, entre el Ordovícico y el Pérmico temprano el oeste de Gondwana ocupó posiciones cercanas al polo sur. Esta situación generó glaciaciones recurrentes, registradas en los depósitos de vastas regiones del sur del continente sudamericano (Fig. 32). Se han reconocido sedimentos glaciarios ordovícicos en la Formación San Luis (Rivarola *et al.* 2010).

Entre el Carbonífero y el Pérmico temprano ocurrió otro período de intensas glaciaciones en la Argentina (Fig. 33) y se calcula que el área englasada en el planeta ocupaba unos 20 millones de km<sup>2</sup> (Isbell *et al.* 2003), entre áreas continentales y marinas. En la cuenca Chacoparanense se conocen unidades de esta edad con evidencia glaciaria o post glaciaria, como las formaciones Sachayoj, Charata, Ordóñez y Victoriano Rodríguez (Gutiérrez *et al.* 2006).

Durante el Carbonífero comenzó el Ciclo Gondwánico, por compresión desde el sur del continente, por lo que se registra un cambio notorio en la dirección de las estructuras. Se observó una somerización de la cuenca, y un posterior regreso a ambientes profundos hacia fines del Carbonífero, en forma correlativa a la glaciación generalizada.

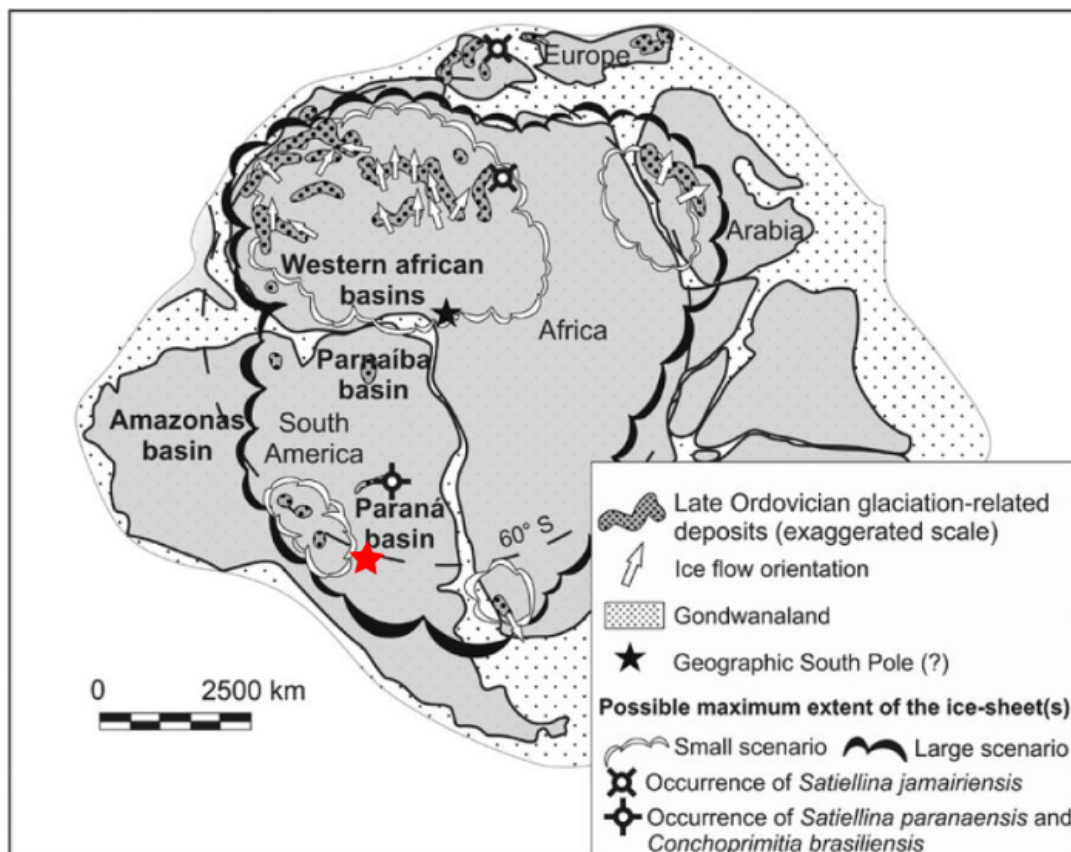


Figura 32. Extensión de los glaciares y flujo del hielo en el Ordovícico Tardío de Gondwana; estrella roja: ubicación de la región Chaqueña. Modificado de Rodrigues Adorno *et al.* 2017.

La elevación de la Dorsal Asunción-Río Grande (DARG) comenzó a separar los depocentros de Paraná y Chacoparanense; en el último continuó la depositación marina profunda, reconocida en las formaciones Charata y Sachayoj. En el Pérmico estas diferencias se acentuaron; en tanto que en el oriente paraguayo el Grupo Independencia está representado por depósitos continentales y costeros; en la región Chaqueña, la Formación Chacabuco está compuesta de pelitas bituminosas y calcáreos.

A partir de comienzos del Jurásico se reconoce el inicio de procesos extensivos en el interior de Gondwana, con la formación de cuencas de rift y aulacógenos. En las áreas paranense y chacoparanense continuaron las condiciones de aridez extrema. Hacia fines del Jurásico se produjeron efusiones basálticas alcalinas acotadas en los bordes de la cuenca de Paraná, particularmente en el oriente de Paraguay. A comienzos del Cretácico, dentro de un régimen extensivo, una inmensa masa de coladas basálticas toleíticas se depositaron en la cuenca de Paraná y gran parte de la Chacoparanense, entre los 138 y 129 Ma. En el oeste de Formosa se desarrolló una cuenca elongada hacia el suroeste, parte de la cuenca del Grupo Salta, conectada con el océano Pacífico;

se registró una potente columna sedimentaria con intercalación de ambientes marinos y continentales y un episodio volcánico. La depositación fue continua hasta el Paleógeno.

Entre fines del Cretácico y principios del Paleógeno continuó la separación continental y la formación del océano Atlántico. Se produjeron nuevas efusiones de volcanismo alcalino en la periferia de la cuenca de Paraná. La acumulación sedimentaria fue importante en la cuenca de Paraná, aunque en la región Chacoparanense hubo gran estabilidad tectónica y la depositación fue aparentemente escasa, con desarrollo generalizado de secciones condensadas y superficies de meteorización.

Durante el Neógeno, el incremento de la actividad tectónica en la región andina desde comienzos del Mioceno, gran subsidencia en toda la región chacopampeana, a la vez que aportó una gran cantidad de sedimentos clásticos y volcanoclásticos. Esta subsidencia favoreció el ingreso del mar durante dos períodos de elevación del nivel global: uno hacia comienzos del Mioceno temprano y otro durante el Mioceno medio a tardío. Los ambientes marinos fueron someros y muy extendidos, ocupando toda el área de las llanuras actuales, hasta el sur del Chaco

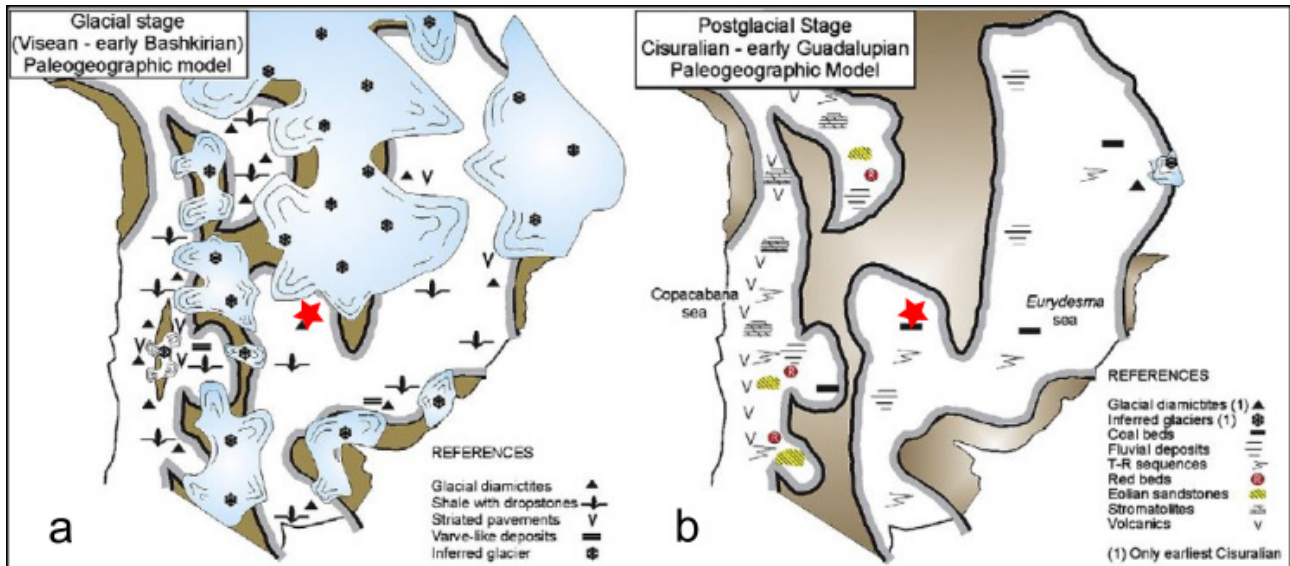


Figura 33. Paleogeografía del sur de América del sur durante el Paleozoico tardío. Se indican áreas elevadas (castaño), extensión de glaciares (celeste), y ubicación de la región Chaquena (estrella roja). a) Período de máxima glaciación del Carbonífero; b) Período post glacial del Pérmico temprano. Modificado de Limarino *et al.* (2014).

paraguayo y boliviano; fueron mares cálidos con ingreso de faunas con afinidad tropical, y de salinidad baja durante gran parte del tiempo. Los intervalos de sedimentación continental intercalados con los marinos, tuvieron características ambientales afines con las actuales, es decir que fueron depósitos clásticos provenientes del oeste con gran proporción de aporte volcanoclástico. En la región Chaquena, aparentemente, se habría iniciado la progradación hacia el este de los mega abanicos aluviales desde el margen oriental andino.

Durante el Neógeno, los depósitos de los mega abanicos del Pilcomayo y Bermejo alcanzaron su nivel de base en los ríos Paraguay y Paraná medio. En el Pleistoceno y Holoceno continuó la agradación de

estos inmensos cuerpos sedimentarios, registrando en sus facies sedimentarias y morfologías fluviales y eólicas, las características variaciones climáticas del Cuaternario. En las condiciones climáticas actuales, constituyen extraordinarios ejemplos de la sensibilidad de este tipo de ambientes a los gradientes climáticos e hidrológicos. En la actualidad, la inmensa mayoría de los sedimentos aportados desde el área andina queda alojado en las fajas activas de cada abanico, proporcionalmente muy reducidas en superficie. La única excepción la constituye el río Bermejo que, debido a su importante caudal, logra transportar una parte de su carga sólida al río Paraguay, y se constituye de este modo en la principal fuente de sedimentos de la cuenca del Plata.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alcaraz, M.A., Zurita, A.E. 2004. Nuevos registros de cérvidos poco conocidos: *Epieuryceros* cf. *proximus* Castellanos y *Antifer* sp. (Mammalia, Artiodactyla, Cervidae). Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales n.s. 6(1): 43-50.
- Baumann, V., Kruck, W., Tchilinguirian, P., Marengo, H. 2002. Hoja Geológica 2560-I, Las Lomitas, provincias de Formosa y Chaco. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N° 334, 52 pp. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/150>
- Bogan, S., Zurita, A., Miño-Boilini, A., Suárez, P., Friedrichs, J., Lutz, A., Friedrichs, J. 2012. Primer registro de Synbranchiformes (Teleostei) para el Holoceno Temprano de Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales n.s. 14(1): 41-45.
- Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija (COBINABE) 2010. Generación y transporte de sedimentos en la cuenca binacional del río Bermejo, 230 pp. Buenos Aires.
- Comisión para el Mapa Geológico del Mundo (CGMW) y Asociación de Servicios Geológicos y Mineiros Iberoamericanos (ASGMI) 2011. Mapa Geológico y de Recursos Minerales de América del Sur (SIG - América del Sur, 1:1 M), Hoja SG21 Asunción (Ar, Br, Py). 1 mapa. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino y Servicio Geológico de Brasil. Compañía de Pesquisa de Recursos Minerales.
- Chebli, G.A., Mozetic, M.E., Rossello, E.A., Buhler, M. 1999. Cuencas Sedimentarias de la llanura Chacopampeana. En Caminos R. (Ed.), Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29(20): 627-644. Buenos Aires.
- Comin-Chiaramonti, P., De Min, A., Cundari, A., Girardi, V.A., Ernesto, M., Gomes, C.B., Riccomini, C. 2013. Magmatism in the Asunción-Sapucai-Villarrica Graben (Eastern Paraguay) Revisited: Petrological, Geophysical, Geochemical, and Geodynamic Inferences. Journal of Geological Research, Article ID 590835, 22 pp. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/590835>
- Contreras, S. 2009. Espigas y Espiguillas de Gramíneas del Holoceno de Villa Escolar. Formosa. Tesina de Licenciatura (inédita), Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes.
- Contreras, S. y Lutz, A. 2014. Primer registro de *Equisetites* sp. (Equisetaceae) en sedimentos cuaternarios del Río Bermejo (Formosa, Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 49(3): 381-392.
- Contreras, S., Lutz, A., Zucol, A. 2015. Holocene paleoecological impressions from the Eastern Chaco Region (Argentina). Review of Palaeobotany and Palynology 223: 37-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.08.008>
- Contreras, S., Zucol, A. 2019. Late Quaternary vegetation history based on phytolith records in the eastern Chaco (Argentina). Quaternary International 505: 21-33.
- Contreras, S., Méndez, C., Zurita, A., Lutz, A., Orfeo, O., Miño-Boilini, A., Friedrichs, J., Friedrichs, J. 2019. Paleontología y geología del Pleistoceno de las provincias de Chaco y Formosa, Argentina. En Nasif N, Esteban y otros (Eds.), Mioceno al Pleistoceno del centro y norte de Argentina, Opera Lilloana 52: 446-465. San Miguel de Tucumán.
- Cordini, I.R. 1947. Los ríos Pilcomayo en la región del Patiño. Dirección de Minas y Geología, Anales I, S.I.C. 22, 83 pp., 43 láminas. Buenos Aires.
- Cucchi, R.J. 1973. Aspectos geomorfológicos de la llanura formoseña, los ríos sin proporción y su significado climático. Revista de la Asociación Geológica Argentina 28(2): 156-164.
- Figueredo, L. 1995. Descripción geológica del pozo RD116 Santa Elena-Paraguay. En González Núñez, M., Lahner, L., Cubas, N., Adelaida, D. (Eds.), Mapa Geológico de la República del Paraguay, Hoja Coronel Oviedo 5670 1:100.000. Cooperación Técnica BGR-MOPC, 30 pp. Asunción.
- Groeber, P. 1958. Bosquejo geológico y climatológico de Formosa. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 40: 265-284. Córdoba.
- Gutiérrez, P.R., Beri, A., Balarino, M.L., Cernuschi, F. 2006. Palinología del Pérmico Inferior en la perforación CLS-24 (Cerro Largo Sur), departamento de Cerro Largo, Uruguay. Parte II: granos de polen. Ameghiniana 43(3): 611-635.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science 235: 1156-1167.
- INTA - Proyecto PNUD 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.
- Iriondo, M. 1974. Los ríos desajustados de Formosa, una hipótesis alternativa. Revista de la Asociación Geológica Argentina 29(1): 136-137.
- Iriondo, M. 2010. Geología del Cuaternario en la Argentina. Museo Provincial de Ciencias Florentino Ameghino, 437 pp. Santa Fe.
- Iriondo, M., Colombo, F., Kröhling, D. 2000. El abanico aluvial del Pilcomayo, Chaco (Argentina, Bolivia y

- Paraguay): características y significado sedimentario. *Geogaceta* 28: 79-82.
- Isbell, J., Miller, M., Wolfe, K., Lenaker, P. 2003. Timing of late Paleozoic glaciation in Gondwana: Was glaciation responsible for the development of northern hemisphere cyclothems? *Geological Society of America, Special Paper* 370: 5-24.
- Kruck, W., Helms, F., Geyh, M., Suriano, J., Marengo, H., Pereyra, F. 2011. Late Pleistocene-Holocene History of Chaco-Pampa Sediments in Argentina and Paraguay. *Quaternary Science Journal* 60(1): 188-202.
- Lagranja, C.J. 2001. Pilcomayo, Río de la Vida. Formosa. Gobierno de la Provincia de Formosa.
- Latrubesse, E.M., Parka, E., Ramonell, C., Sounny Sli-tine, A., Cafaro, E. 2020. The Chaco Megafans. En Wilkinson, J., Latrubesse, E.M. y Gunnell, Y. (Eds.), *Fluvial Megafans on Continents and Planets* Cambridge University Press. En prensa.
- Limarino, C.O., Césari, S.N., Spalletti, L.A., Taboada, A.C., Isbell, J., Geuna, S., Gulbranson, E.L. 2014. A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: A record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Research* 25: 1396-1421.
- Lizuain Fuentes, A. y Panza, J.L. (coordinadores) 2018. Mapa Geológico del Sector Continental e Insular Americano de la República Argentina - Mapa Geológico del Sector Antártico Argentino. Escala 1:2.500.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- López Gamundí, O.R. 1997. Glacial-postglacial transition in the Late Paleozoic Basins of southern South America. En: Martini, P.I. (Ed.), *Late glacial and postglacial environmental changes-Quaternary, Carboniferous-Permian and Proterozoic*, Oxford University Press, 147-168. New York.
- Marengo, H.G. 2015. Neogene Micropaleontology and Stratigraphy of Argentina. *The Chaco-Paranense Basin and the Peninsula de Valdés. Springer Briefs in Earth System Sciences*, 218 pp.
- Marengo, H.G., Casanova, M.C. 2017. Desarrollo estructural de la provincia de Corrientes. XX Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán). Resumen extendido en versión digital.
- Martín-Vide, J.P., Amarilla, M., Zárate, F.J. 2014. Collapse of the Pilcomayo River. *Geomorphology* 205: 155-163.
- Milani, E.J., Gonçalves de Melo, J.H., Alves de Souza, P., Fernandes, L.A., Barros França, A. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15(2): 265-287.
- Mingramm, A., Russo, A., Pozzo, A., Cazau, L. 1979. Sierras Subandinas. *Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias* 1: 95-138. Córdoba.
- Organización de los Estados Americanos (OEA) 1977. Cuenca del Plata. Estudio para su Planificación y Desarrollo. Cuenca del Río Bermejo II - Cuenca Inferior. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea22s/begin.htm#Contents>
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Bizangoli, F., Tognetti, P., Barberis, L., Maturo, H., Aragón, R., Campanello, P., Prado, D., Oesterheld, M., León, R. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28: 40-63.
- Padula, E., Mingramm, A. 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chaco-Paranense. *Terceras Jornadas Geológicas Argentinas (Buenos Aires)*. Actas 1: 291-332.
- Prevosti, F., Zurita, A., Carlini, A. 2005. Biostratigraphy, systematics and paleoecology of the species of *Procyon* Giebel, 1855 (Carnivora, Canidae) in South America. *Journal of South American Earth Sciences* 20(1-2): 5-12.
- Ribeiro, A.C., Ricomini, C., Dexheimer Leite, J.A. 2018. Origin of the largest South American transcontinental water divide. *Springer Natura Scientific Reports* 8: 17144. DOI:10.1038/s41598-018-35554-6.
- Rivarola, D., Ortíz Suárez, A., Perón Orrillo, J.M., Icazatti, M. 2010. Stratigraphy and sedimentology of San Luis Formation, Late Proterozoic, Early Paleozoic of San Luis Province. A first approach. 18th International Sedimentological Congress, Abstracts p. 752. Mendoza.
- Rodrigues Adorno, R., Aparecido do Carmo, D., Salas, M.J., Zabini, C., Assine, M. 2017. The earliest Ostracoda record from Brazil: Vila Maria Formation, Rio Ivaí Group, Paraná Basin, Central Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 19(3): 379-388.
- Rossello, E., Veroslavsky, G., de Santa Ana H., Fúlfaro, V.J., Fernández Garrasino, C.A. 2006. La Dorsal Asunción-Río Grande: Un Alto fondo Regional entre las Cuencas Paraná (Brasil, Paraguay y Uruguay) y Chacoparanense (Argentina). *Revista Brasileira de Geociências* 36: 181-196.
- Salfity, J.A., Marquillas, R.A. 1999. La Cuenca Cretácico-Terciaria del Norte Argentino. En: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Anales* 29(19): 613-626. Buenos Aires.
- Soibelzon, L., Zurita, A., Morgan, C., Rodriguez, S., Gasparini, G., Soibelzon, E., Schubert, B., Miño-Boilini, A. 2010. Primer registro fósil de *Procyon cancrivoro-*

- rus* (G. Cuvier, 1798) (Carnivora, Procyonidae) en la Argentina. Implicancias paleoambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 27(2): 313-319.
- Somoza, R. 1998. Updated Nazca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the Central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences* 11:211-215.
- Starck, D. 2011. Cuenca Cretácica-Paleógena del Noroeste Argentino. En Kozłowski, E., Legarreta, L., Boll, A. Marshall, P. (Eds.), VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Cuencas Argentinas, Visión actual: Mar del Plata, Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, 407-453.
- Tapia, A. 1935. Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. Dirección de Minas y Geología, Boletín 40, 143 pp. Buenos Aires.
- Tonni, E.P., Scillato-Yané, G.J. 1997. Una nueva localidad con mamíferos pleistocenos en el Norte de la Argentina. Aspectos paleozoogeográficos. VI Congreso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternario e Reuniao sobre o Quaternario da America do Sul (Curitiba). *Anais*: 345-348.
- Zurita, A., Miño-Boilini, A., Carlini, A., Iriondo, M., Alcaraz, M. 2009. Paleontología del Chaco Oriental. Una nueva localidad con mamíferos fósiles pleistocenos en el río Bermejo (Formosa, Argentina). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (2): 277-288.
- Zurita, A., Miño-Boilini, A., Francia, A., Erra, G., Alcaraz, M., Carlini, A., Lutz, A., Friedrichs, J. 2014. Paleontología y cronología del Cuaternario de las provincias de Corrientes y Formosa, Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 26(1): 75-86.

TRABAJO EN PREPARACIÓN