

# RECONSIDERACIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL NEOPALEOZOICO DE LOS ALREDEDORES DEL DIQUE LOS SAUCES, LA RIOJA

Esteban M. PIERONI<sup>1,2</sup> y Sergio M. GEORGIEFF<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>IESGLO, Facultad de Cs. Naturales e Instituto Miguel Lillo - Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205. (4000) Tucumán.

<sup>2</sup>ANCyT. E-mail: empieroni@csnat.unt.edu.ar

<sup>3</sup>CONICET. E-mail: sergio\_georgieff@csnat.unt.edu.ar

## RESUMEN

Los afloramientos neopaleozoicos localizados en los alrededores del dique Los Sauces, provincia de La Rioja, constituyen un importante depósito sedimentario ubicado en el margen norte de la cuenca Paganzo. La columna geológica es grano y estrato decreciente, con características distintivas litológicas y paleontológicas que permiten dividir los depósitos, de edad carbonífera-pérmica, en dos unidades: Formación Libertad y Formación Sauces, modificando parcialmente una propuesta estratigráfica anterior.

La Formación Libertad está compuesta por bancos de conglomerados y areniscas de colores claros, gris verdosos y morados, entre los que se intercalan estratos arcillosos de color negro, los cuales fueron explotados hace algunas décadas como arcillas refractarias. Los depósitos de la Formación Sauces se destacan por su color rojo ladrillo, en general, y están compuestas por areniscas, limolitas y, en menor proporción, por conglomerados. Sus principales afloramientos se reconocen hacia el NNO, NE y SSE del valle del dique Los Sauces y se distinguen relictos aislados en su región central. La Formación Sauces tiene una distribución areal mayor que la Formación Libertad.

Las megaflores recuperadas de las secciones basal y superior de la Formación Libertad, han permitido identificar especies características del Carbonífero Superior tardío. En cuanto a la Formación Sauces los estudios palinológicos indican una edad pérmica temprana.

Palabras clave: *Estratigrafía, Carbonífero-Pérmico, La Rioja, Argentina.*

**ABSTRACT:** *Stratigraphic reconsideration of the late Paleozoic in the surrounding of the Los Sauces dam, La Rioja.*

Upper Paleozoic outcrops located around to Los Sauces dam, La Rioja Province, constitute an important sedimentary depocenter at the north of Paganzo Basin. The geologic column is grain and bed fining-upward; distinctive lithological features allow dividing the succession in two lithostratigraphic units: Libertad and Sauces Formations. This proposal modifies partially a previous stratigraphic scheme. The Libertad Formation, Late Carboniferous, is formed by sets of grey greenish and purple conglomerates and sandstone, which are interbedding with black siltstone and mudstone. These fine sediments were mined during last decades as refractory argillite. The Sauces Formation is formed by orange red sandstones and siltstones with a few proportions of conglomerates. Main outcrops of Sauces Formation are present at NNW, NE and SSE side of the valley and isolated outcrops appear as small islands in the modern lake.

Some characteristic species of the megaflores collected in the basal and middle sections of the Libertad Formation indicate a Late Carboniferous age. On the other hand palynologic studies performed in samples collected in the Sauces Formation indicate an Early Permian age.

Keywords: *Stratigraphy, Carboniferous-Permian, La Rioja, Argentina.*

## INTRODUCCION

Los depósitos sedimentarios continentales neopaleozoicos estudiados se encuentran ubicados en el tramo medio del faldeo oriental de la sierra de Velasco, entre los 29°21' y 29°24' S y los 66°58' y 67°00' W, en el área conocida como dique Los Sauces, a 15 kilómetros al oeste de la ciudad de La Rioja (Fig. 1). Las unidades aflorantes fueron definidas originalmente por Amos y Zardini (1962) y constituyen un importante depósito en el margen norte del ámbito oriental de la cuenca Paganzo.

El objetivo del trabajo es proponer la re-

consideración de la estratigrafía neopaleozoica del área, basándose en descripciones de perfiles estratigráficos de detalle, análisis de los paleoambientes y nuevas evidencias paleobotánicas (Vergel *et al.* 2000, Carrizo *et al.* 2004, di Pasquo *et al.* 2004 y Pieroni 2004).

De acuerdo con Carrizo *et al.* (2004) y Pieroni (2004), el material megaflorístico recolectado pertenece a especies características del Carbonífero más tardío registrado en Argentina. La asociación incluye fragmentos de improntas de frondes, hojas, tallos, compresiones y moldes de semillas, en su mayoría con restos de carbonización y en

buen estado de preservación. Los resultados de las muestras recolectadas para los estudios microflorísticos de las Formaciones Libertad y Sauces fueron dados a conocer parcialmente por Vergel *et al.* (2000) y di Pasquo *et al.* (2004). Los palinomorfos varían en cantidad y presentan, en general, de regular a buen grado de preservación. Se determinaron 67 especies de las cuales *Brevitriletes levis* (Balme y Hennelly) Bharadwaj y Srivastava 1969; *Brevitriletes leptocaina* Jones y Truswell 1992; *Horriditriletes ramosus* (Balme y Hennelly) Bharadwaj y Salujha 1964, *Horriditriletes superbus* (Foster) Césari, Archangelsky y Seoane 1995, *Illinites*

*unicus* Kosanke emend. Jansonius y Hills 1972, *Protohaploxyphus goraiensis* (Potonié y Lele) Hart 1964 y *Vittatina costabilis* Wilson 1962, son citadas por primera vez en la cuenca Paganzo (di Pasquo *et al.* 2004 y Pieroni 2004).

## MÉTODOS UTILIZADOS

La identificación de las unidades litoestratigráficas fue realizada mediante fotografías aéreas (1: 50.000) e imágenes satelitales (1: 250.000). El mapa geológico original se dibujó en escala 1: 25.000 sobre la base de fotogeología y control de campo. La figura 1 muestra la información referida a los afloramientos del basamento cristalino y las formaciones neopaleozoicas, los datos estructurales y toponímicos.

Los tres perfiles estratigráficos fueron relevados a escala 1:50 mediante la planilla de descripción de perfiles de Bossi *et al.* (1979) y tabla de colores de *The Rock-Color Chart Committee* (1991) y redibujados para su pre-

sentación.

Por otra parte, para complementar la interpretación de los depósitos se realizaron mediciones de paleocorrientes en rodados imbricados y en artesas. Las mediciones fueron corregidas a la horizontal con red de Wulff en los casos en que el buzamiento de las capas fue mayor a 15°.

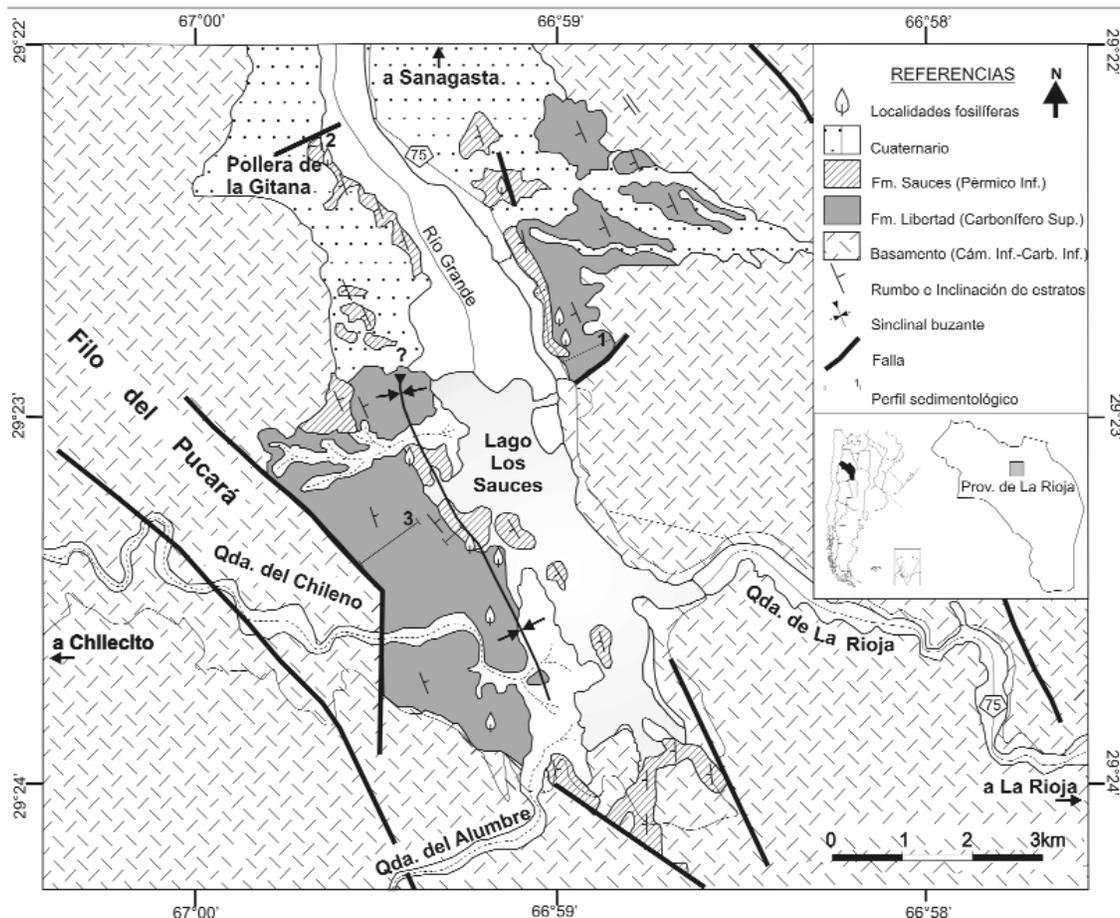
La nomenclatura descriptiva utilizada en el análisis de facies se basa en la propuesta de Miall (1978), quien designa la textura con una letra mayúscula y la estructura con una letra minúscula. Describiéndose facies conglomerádicas (G), facies de areniscas (S) y facies de pelitas (L, limolitas, y A, arcilitas). A su vez, estas se diferencian por la estructura sedimentaria predominante, identificándose principalmente a las siguientes: maciza (m), tabular (t), lenticular (l), inclinada (i), con artesas (a), laminación paralela (p), laminación ondulítica (o) y horizontal (h). La interpretación paleoambiental de los depósitos se realizó mediante el análisis de facies y asociaciones de facies. Los perfiles,

las localidades fosilíferas, de paleocorrientes, y algunos contactos fueron georeferenciados mediante un posicionador satelital.

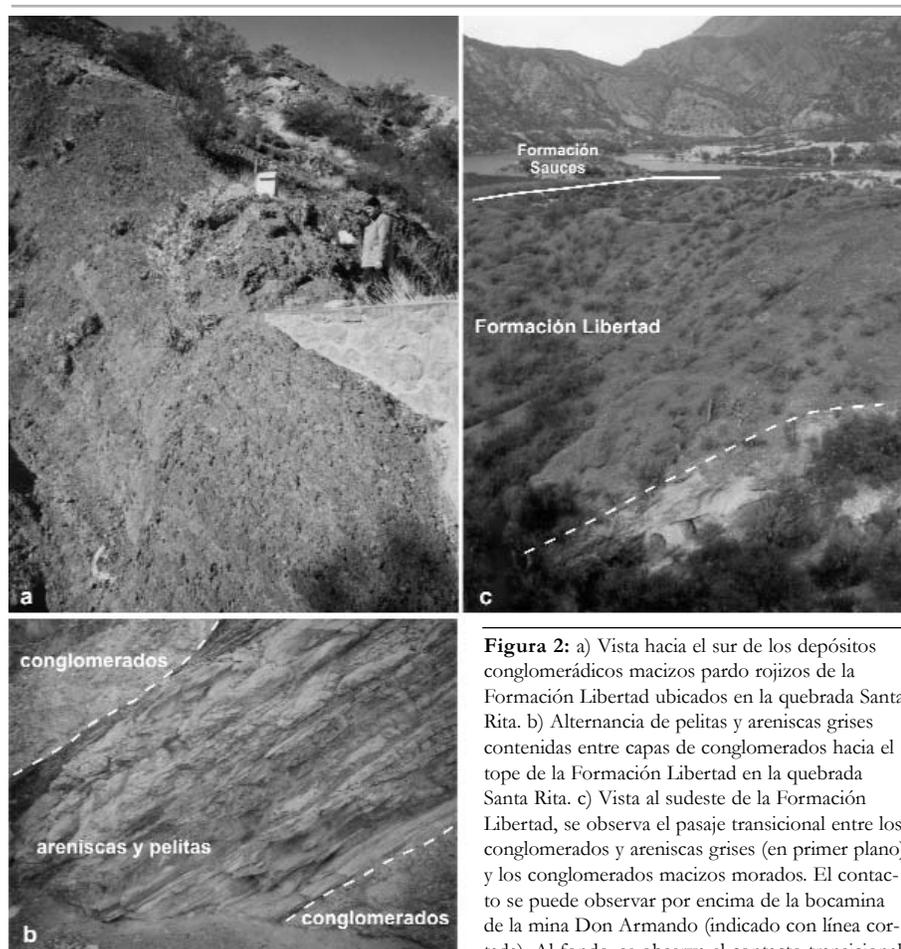
Parte de las muestras recolectadas fueron procesadas y determinadas en el laboratorio de Paleobotánica de la Fundación Miguel Lillo por los Dres. Hugo Carrizo y María del M. Vergel, como así también se enviaron muestras a la Universidad de Buenos Aires, cuyo procesamiento y determinación fueron realizados por la Dra. Mercedes di Pasquo y el Dr. Carlos Azcuy. Los materiales están depositados en la colección de Paleobotánica de la Fundación Miguel Lillo bajo la sigla Lil - Pb (Hugo A. Carrizo, com. pers. 2004).

## MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se ubica en el ámbito oriental de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Orientales (Caminos 1979). La evolución de esta provincia geológica está relacionada con la orogenia andina, la cual



**Figura 1:** Mapa geológico y ubicación del área del dique Los Sauces. Se indican las posiciones de los tres perfiles sedimentológicos relevados y las principales localidades fosilíferas.



**Figura 2:** a) Vista hacia el sur de los depósitos conglomerádicos macizos pardo rojizos de la Formación Libertad ubicados en la quebrada Santa Rita. b) Alternancia de pelitas y areniscas grises contenidas entre capas de conglomerados hacia el tope de la Formación Libertad en la quebrada Santa Rita. c) Vista al sudeste de la Formación Libertad, se observa el pasaje transicional entre los conglomerados y areniscas grises (en primer plano) y los conglomerados macizos morados. El contacto se puede observar por encima de la bocamina de la mina Don Armando (indicado con línea cortada). Al fondo, se observa el contacto transicional con la Formación Saucés.

comenzó en el Jurásico Tardío - Cretácico Temprano y aún continúa activa, asociándose a la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana (Coira *et al.* 1982). Los eventos intrusivos ocurridos entre el Cámbrico Inferior y el Carbonífero Inferior (Rapela *et al.* 1999) dieron origen a un conjunto de plutones graníticos, cuyo ascenso y consolidación estuvo controlado por factores tectónicos (Aceñolaza *et al.* 2000).

Según Aceñolaza *et al.* (2000), el acontecimiento orogénico que se desarrolla a fines del Devónico, coincidente con el final del ciclo famatiniano (fase chánica), estructuró la sierra de Velasco y permitió integrarla al contexto de las Sierras Pampeanas. Se produjo el levantamiento, arqueamiento y fracturación de los depósitos acumulados durante el lapso Cámbrico Inferior alto - Carbonífero Inferior dando lugar a una tectónica de pilares y fosas y a la formación de la proto-Precordillera. La consecuencia de este

proceso fue que a partir del Carbonífero Tardío, en la cuenca Paganzo, se establecieron en su mayor parte condiciones de sedimentación en un ambiente continental controlado por las estructuras del basamento cristalino (Azcuay *et al.* 1999). La consolidación y fracturación a las que estuvieron sometidas posteriormente las rocas neopaleozoicas, durante la orogenia andina, permitieron la exposición de estos depósitos sedimentarios continentales.

El área del dique Los Sauces en particular, representa un depocentro con una orientación NNO con fallamientos inversos de alto ángulo en los flancos oriental y occidental del valle. Los afloramientos de la unidad litoestratigráfica más antigua, Formación Libertad (Amos y Zardini 1962), se encuentran restringidos a ambos márgenes del lago y al área noreste de la zona de estudio ocupando la parte marginal de esta cubeta sedimentaria y la Formación Saucés ocupa la parte central del área (Fig. 1).

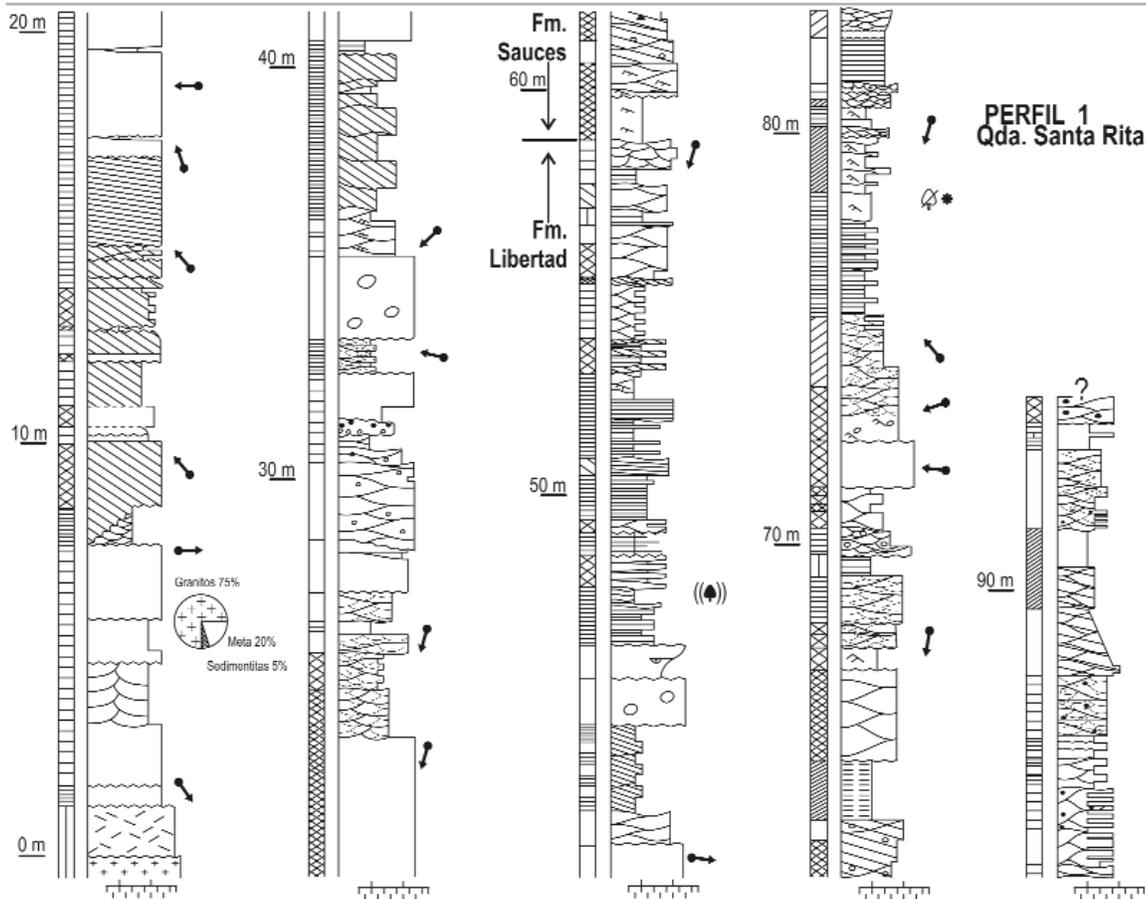
La geología de la región fue inicialmente estudiada por Amos y Zardini (1962) quienes realizaron un mapeo y describieron las sedimentitas neopaleozoicas que afloraban en la zona, principalmente la extensión y espesores de las pelitas negras, indicando el estado de los laboreos mineros y el potencial remanente en estos estratos. Los autores propusieron tres unidades litoestratigráficas para la columna neopaleozoica, de abajo hacia arriba: Formaciones Libertad, Saucés y Prudencia. Asimismo, señalaron que la sucesión no era continua estratigráficamente y que cada una se apoyaba por separado sobre el basamento cristalino, estando en contacto parcial únicamente las Formaciones Libertad y Prudencia. Además, los mismos autores mencionaron que la Formación Saucés no se apoya sobre otra unidad sedimentaria.

Braccacini (1946,1948), Bortolotti (1979) y Aceñolaza y Bortolotti (1981) mencionaron la presencia de restos de flora fósil en la Formación Libertad, aunque sin mencionar la procedencia y posición estratigráfica precisa. Azcuay y Césari (1980) dan a conocer la presencia de Fílices en las lutitas carbonosas de la Formación Libertad, lo que les permitió acotar la edad de esta unidad.

## ESTRATIGRAFÍA

El análisis de los perfiles descriptos y las relaciones estratigráficas observadas entre las unidades sedimentarias neopaleozoicas y el basamento permiten proponer una redefinición de las extensiones y espesores de las Formaciones Libertad y Saucés, como así también definir los perfiles y localidades tipo para cada una de ellas y, por último, reasignarles una edad de acuerdo a su contenido paleontológico.

Entre los fósiles coleccionados, el proceso de fosilización común a la mayor parte del material corresponde a las impresiones y contraimpresiones, las cuales muestran detalles superficiales ligeramente distorsionados, en algunos casos acompañados con restos de carbonización. En el caso de las articuladas y semillas dispersas, además de las impresiones se distingue otro proceso de fosilización, que incluye moldes positivos, moldes negativos y *casts* (Pieroni 2004). En este trabajo se propone como área tipo



**Figura 3:** Perfil 1 en la quebrada de Santa Rita (véanse ubicación en la figura 1 y referencias en la figura 10). Están representadas la Formación Libertad en contacto paraconcordante con el basamento y la sección inferior de la Formación Saucés.

(Código Argentino de Estratigrafía 1992) para las unidades neopaleozoicas descriptas el dique Los Sauces y sus alrededores.

#### FORMACIÓN LIBERTAD (CARBONÍFERO SUPERIOR TARDÍO)

**Localidad y perfil tipo:** La localidad tipo propuesta para la Formación Libertad corresponde a los afloramientos del faldeo oriental del valle, mientras que el lectoestratotipo es la quebrada Santa Rita, ubicada al este de la ruta nacional 75 (Fig. 1). Es una sucesión de 57 m de espesor, grano y estrato decreciente. El rumbo de las capas varía entre N350° y N358° y la inclinación decrece de base a techo de 42°O a 34°O.

**Relaciones estratigráficas:** La base de la unidad se apoya en forma paraconcordante sobre el basamento cristalino, el cual está formado por un granito blanco (N9) alterado.

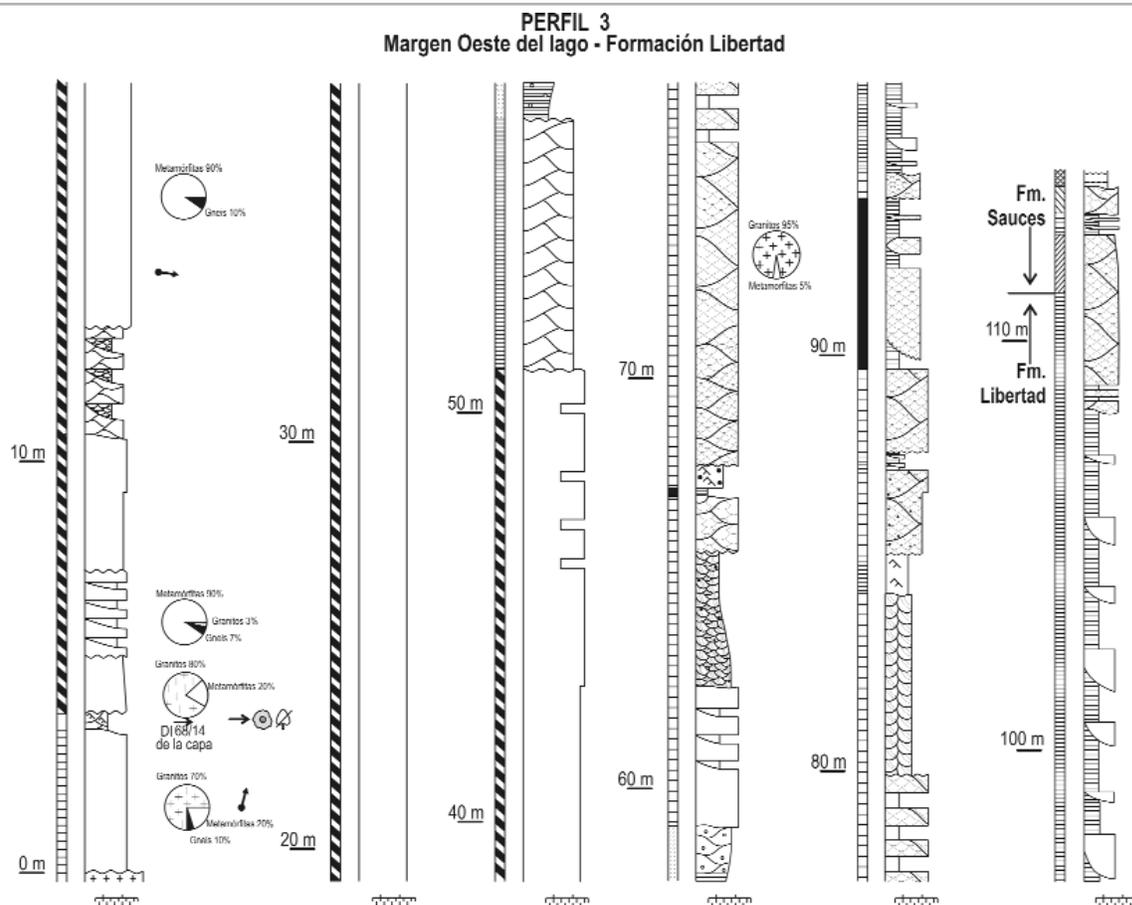
**Caracterización litológica del perfil tipo (quebrada Santa Rita):** La sucesión comienza con conglomerados, en general, de matriz soporte sabulítica compuestos por rodados de gra-

nito (75%), metamorfitas (20%) y sedimentitas rojizas (5%, rodados de hasta 7 cm de diámetro), en algunas capas aisladas la fábrica es clasto soporte. Presentan estratificaciones tabulares y cruzadas, imbricación y estructuras de corte y relleno macizas. Las capas son grises (N5, N6 y N7) en la base y hacia arriba presentan intercalaciones delgadas de areniscas y conglomerados castaño claro (5YR8/1). Por encima se observa una capa de conglomerados guijarrosos castaño oscuro (5YR3/5) de 4,50 m, macizo y con rodados dispersos (Fig. 2 a).

Hacia el tope de la formación los estratos son de menor espesor y la textura es más fina pudiéndose observar capas de areniscas muy gruesas a muy finas, grises y blancas en su mayoría (N5, N7 y N8) con estratificación lenticular, laminación inclinada de bajo ángulo y convoluta (escapes de fluidos), seguidas de limolitas con laminación paralela. El conjunto es cubierto por conglomerados blancos (N8) medios macizos, con rodados dispersos e imbricados (Fig. 2 b). La parte superior muestra ricos niveles de megaflo-

en limolitas grises (N3 y N4) en capas macizas o con laminación ondulada, intercaladas con areniscas muy gruesas a muy finas con estratificación lenticular, laminación ondulada, paralela, inclinada de bajo ángulo y macizos.

Por otra parte, en el margen oeste y sur del embalse, el basamento cristalino se apoya sobre la Formación Libertad mediante una falla inversa de alto ángulo (Fig. 4). El espesor medido en este perfil es de 113 m y los datos de rumbo varían entre N338° y N315°, y la inclinación entre los 14°O y 26°O. La sucesión sedimentaria es grano y estrato decreciente, comienza en la base con un potente conglomerado de guijas, guijarros y guijones intercalado con capas de areniscas sabulíticas, areniscas muy gruesas y capas de limolitas que varían lateralmente de espesor. Estos niveles pelíticos son portadores de megaflo-



**Figura 4:** Perfil 3 al oeste del lago (véanse ubicación en la figura 1 y referencias en la figura 10). Formación Libertad en contacto por falla con el basamento granítico.

donados (Fig. 2 c). Los cuerpos conglomerádicos son grises claro (N7 y N8) en los primeros 4 metros y hacia arriba, en los siguientes 50 m, son morados a púrpuras (5RP3/2 y 5P3/2). Los estratos presentan estructura maciza en general y lenticular con estratificación en artesa para las capas de areniscas. Se observa una muy buena preservación de rodados imbricados y estructuras de corte y relleno. Los clastos son principalmente de metamorfitas de bajo grado con una baja proporción de granitos y gneises. Estos conglomerados se correlacionarían con el paquete de conglomerados castaño oscuro de 4,50 m observada en la fig. 2 a, ubicado en el perfil de la quebrada Santa Rita.

La sección media de la unidad se caracteriza por un cambio de color, donde predominan el gris y negro (N7 a N2). Aunque se observan algunas capas de conglomerados finos, en general el tamaño de grano tiende a disminuir dando lugar a la predominancia

de capas de areniscas que se intercalan con materiales finos pelíticos negros (N2). En las capas conglomerádicas la fábrica es matriz soporte sabulítica, y los clastos son subredondeados de 3 a 10 cm. La composición de los clastos indica una clara supremacía de los rodados graníticos sobre las metamorfitas. En la mina El Dorado, ubicada dentro de esta unidad, se observaron moldes externos de un fragmento de tronco de tipo arborescente paralelo a la estratificación.

La parte superior está formada por limolitas y arcilitas negras y gris oscuro (N2 y N3) con laminación paralela, intercaladas con capas y lentes de techo plano y base cóncava de areniscas finas, gruesas y muy gruesas de 0,1 a 0,4 m. de espesor, con rodados dispersos y estratificación lenticular con artesas y estratos macizos. También se observan estructuras de corte y relleno de hasta 2 m de espesor y 6 metros de ancho con estratificación en artesa. Algunas capas de

material pelítico presentan nódulos pardos oscuros de 0,35 x 0,2 m cementados con carbonato.

**Contenido paleontológico:** El material coleccionado incluye fragmentos de improntas de frondes, hojas, tallos, compresiones y moldes de semillas. La mayoría de ellas presentan restos de carbonización y en buen estado de preservación (Carrizo *et al.* 2004, Pieroni 2004). Varias improntas de tallos corresponden a articuladas de porte arborescente. El número de especímenes y de especies es variable según los niveles analizados. Carrizo *et al.* (2004) y Pieroni (2004) establecen que la asociación está integrada por: *Botrychiopsis weissiana*, *Fedekurtzia argentina*, *Enspheopteris sanjuanina*, *Krauselcladus argentinus*, *Asterotheca* sp., *Paracalamites australis*, *Cordaïtes* sp., *Cordaïtes riojanus*, *Cordaïcarpus* spp., *Samaropsis minezzi* y una licópsida indeterminada. Las especies identificadas son características de la fitozona de intervalo de antigüedad carbonífera superior tar-

día. La precisa ubicación de los niveles planíferos y los datos paleoflorísticos y paleoambientales han permitido asignar con mayor acierto la antigüedad de estas sedimentitas y sugerir comparaciones con la paleoflora de otras regiones del Gondwana sudamericano (Pieroni 2004). La palinoflora de la Formación Libertad está dominada por esporas triletes (70%) principalmente de licópoides, esfenópoides y filicópoides, y los granos de polen monosacados atribuidos a gimnospermas (coniferales, pteridospermales) constituye el 20% de la asociación (di Pasquo *et al.* 2004, Pieroni 2004).

**Edad y correlación:** Con referencia a la antigüedad de la asociación paleobotánica, las especies identificadas son características de la fitozona de intervalo indicando para la tafloflora de la Formación Libertad una antigüedad carbonífera superior tardía (Carrizo *et al.* 2004, Pieroni 2004). Por otra parte, los datos paleobotánicos son corroborados por los palinológicos en esta unidad formacional. La asociación de palinoflora es correlacionada con biozonas del Carbonífero Tardío como la biozona DM (Sub-biozona B referida al Westphaliano-Estefaniano, di Pasquo *et al.* 2004, Pieroni 2004).

**Paleocorrientes:** Se realizaron 78 mediciones de paleocorrientes en la Formación Libertad. La media de las direcciones de paleocorrientes en los afloramientos del flanco este del área, en la base de la unidad, es N305°, con valores entre N296° y N331°; mientras que hacia el techo la dirección media cambia a N212°, con valores extremos entre N179° y N283°.

La media de las direcciones de las paleocorrientes en el flanco oeste es de N52°, con valores extremos entre N1° y N156°.

**Análisis de facies y paleoambientes:** El análisis de

facies de los perfiles estratigráficos (Figs. 3 y 4) permitió definir cinco facies conglomerádicas (Gm, Ga, Gi, Gt, Gl), seis facies de areniscas (Sa, Sm, So, Si, Sp, Sl) y cuatro de pelitas (Lp, Lm, Lo, Li).

Las asociaciones de facies (AF) y el análisis de paleocorrientes indican que el paleoambiente de la Formación Libertad corresponde a un sistema de abanicos aluviales (Nemec y Steel, 1984, Blair y McPherson, 1994, AF 1: Gm, Sm, Sl) que engranan con canales gravosos (Lunt *et al.* 2004, AF 2: Gm, Gt, Gl, Gi, Ga, Sa, Sm, Sl) y arenosos (Bridge 1993, AF 3: Gl, Ga, Sl, Sa, Si, So), los cuales conforman un sistema que fluía hacia el sudeste y desemboca en un lago somero (AF 4: Lm, Lp, Lo, Li, Sp, So, Sl) formando lóbulos de arena (AF 5: Sm, Sp, So, Sl, Si) y delta tipo Gylbert (Massari y Colella 1988, AF 6: Gm, Gl, Sl, Lp, Lm) (Figs. 2b y 3). La asociación de megaflores en la Formación Libertad es característica de ambientes húmedos.

El modelo paleoambiental corresponde a un sistema transversal de abanicos aluviales convergentes del este y oeste que endicaron al sistema longitudinal de canales gravosos y arenosos que migraban hacia el sur, provocando la formación de un conjunto de lagos menores ubicados hacia el techo de la unidad.

#### FORMACIÓN SAUCES (PÉRMICO INFERIOR)

**Localidad y perfil tipo:** Los afloramientos de la Formación Saucés se encuentran al NNO, NE y SSE del valle del dique Los Saucés y se distinguen relictos aislados en la región central del mencionado valle. La localidad tipo propuesta en este trabajo para la unidad se encuentra en el paraje denominado

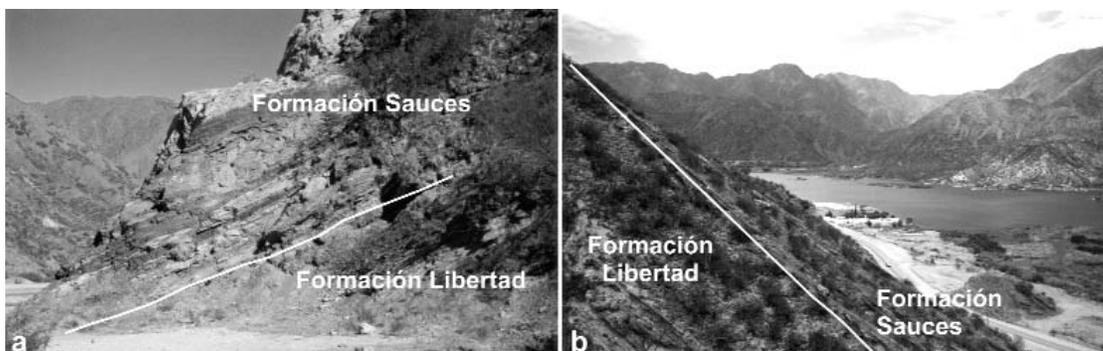
Pollera de la Gitana, ubicado al noroeste del área tipo (Fig. 1).

El lectoestratotipo propuesto para la unidad aflora en el lado oeste del lago, en la quebrada al norte de la mina El Dorado (sección basal) y en los depósitos aflorantes en la Pollera de la Gitana (fig. 6 a) correspondientes a las secciones media y superior de la unidad. El espesor total medido para esta unidad es de 156 m. El rumbo y buzamiento de la unidad en la Pollera de la Gitana es N332°/22°O.

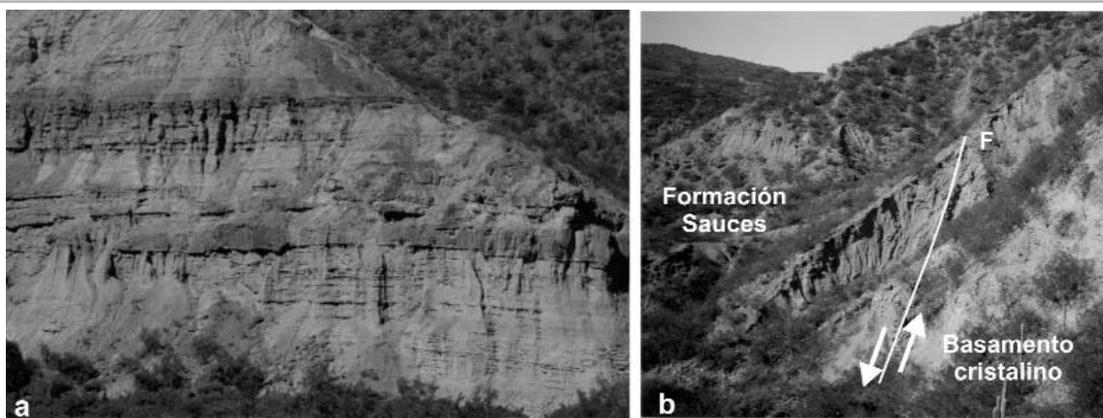
**Relaciones estratigráficas:** La base de la Formación Saucés se apoya sobre la Formación Libertad en forma concordante y transicional (Pieroni 2004), mientras que el techo está en contacto discordante con el Cuaternario indiferenciado (Figs. 5 a y b).

**Caracterización litológica del perfil tipo:** En general, la sucesión es una alternancia de areniscas, pelitas y conglomerados que comienza con una arenisca roja (10R4/2) muy gruesa a gruesa (Fig. 7), a la que le suceden areniscas finas, medias, muy gruesas a sabulíticas amarillas (5Y6/4), grises (N6 y N7) y castañas (5YR8/1 y 5YR4/2) que alternan con limolitas y limo-arcilitas negras y gris oscuro (N2, N3 y N4). Lentes finas de areniscas muy gruesas y finas se hallan también intercaladas en esta sucesión. Los conglomerados son finos (guijas de 5 cm) rojizos (5YR5/6) con fábrica matriz soporte y estratificación en artesa. Las areniscas presentan estratificación tabular irregular, lenticular en artesa, con rodados dispersos en la base del estrato y/o en toda la capa y laminación ondulada. Las capas pelíticas muestran laminación paralela.

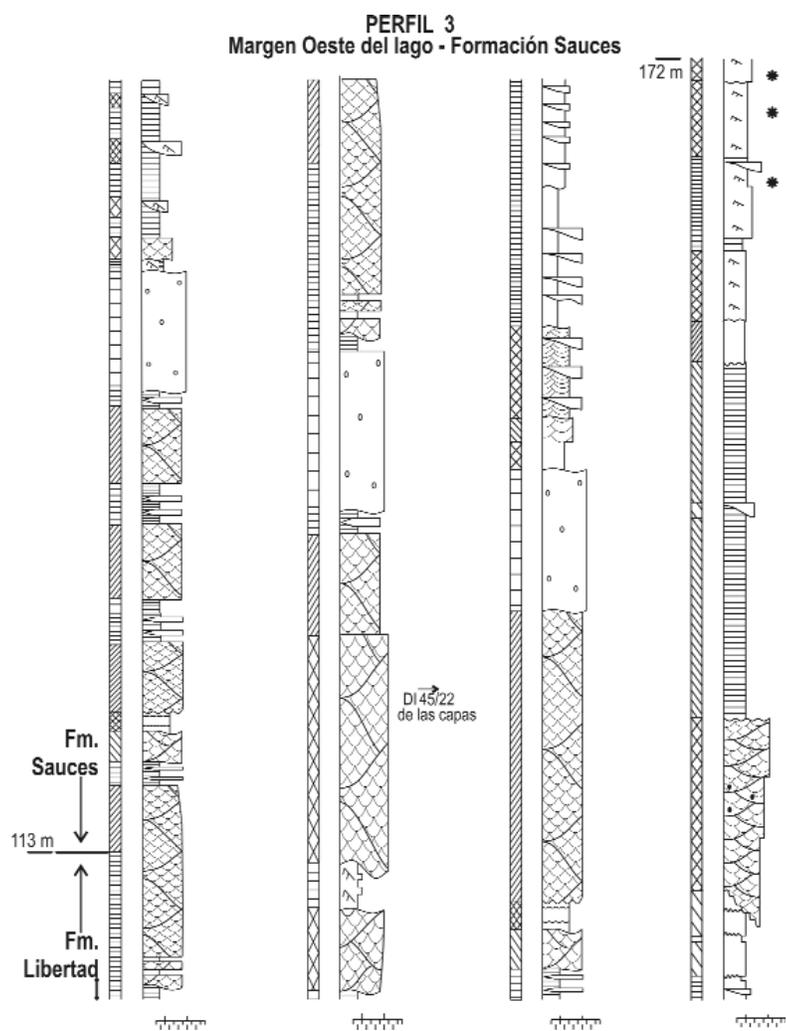
La sección media (Fig. 8), correspondiente a la base de La Pollera de la Gitana, comienza con una sucesión en donde predominan las areniscas muy finas, intercaladas



**Figura 5:** Contacto entre las formaciones Libertad y Saucés. a) Pasaje transicional y concordante en la salida de la quebrada de Santa Rita, al noreste de la ruta nacional 75. b) Vista hacia el suroeste del contacto concordante y transicional entre las unidades, los estratos buzanan 24° O.



**Figura 6:** Afloramientos de la Formación Sauces. a) Vista al oeste del paraje de la Pollera de la Gitana (véase ubicación en la figura 1), sección media superior de la unidad. Note los niveles de areniscas más resistentes a la erosión que caracterizan a estos depósitos fluviales. b) Vista hacia el sur del contacto por falla entre la Formación Sauces y el basamento granítico. Este tipo de contacto se observa principalmente al sur y sudoeste del área de estudio.



**Figura 7:** Perfil 3 al oeste del lago (véanse ubicación en la figura 1 y referencias en la figura 10). Se observa la sección inferior de la Formación Sauces.

con lentes de areniscas finas y medias, y con niveles de limolitas grises oscuras (N3 y N4) con laminación paralela y maciza. Las are-

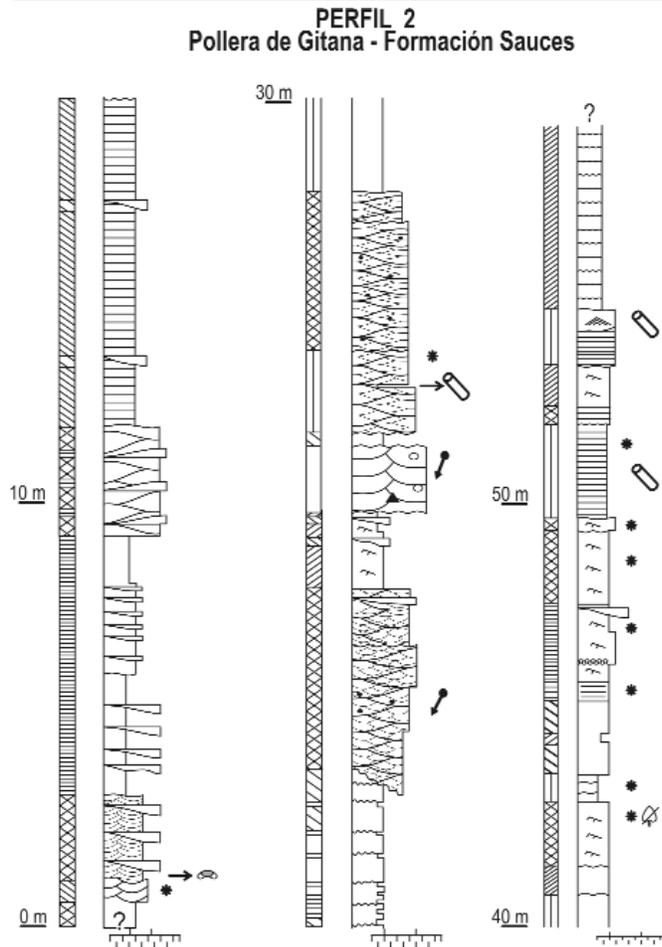
niscas, en general, son amarillas (5Y6/1 y 5Y4/2), grises (N4, N5 y N7) y castañas (5YR7/1); los estratos presentan estructura

lenticular con estratificación cruzada, estratificación tabular irregular y maciza. En la base de la sección se observan briznas y es portadora de elementos microflorísticos. También se reconocieron fructificaciones, muchas de ellas en muy buen estado de preservación. Le sigue una capa castaño oscura (10YR6/4) grano creciente de arenisca gruesa que pasa a arenisca sabulítica, seguido de capas de areniscas gruesas, muy gruesas y sabulíticas que se intercalan con areniscas muy finas y con un conglomerado de guijarros. Las areniscas son castañas claras (10YR6/4), rojizas (5R5/4), verdes (5GY7/1) y amarillas (5Y6/1) con estratificación lenticular en artesa, lenticular y laminación ondulada. Se distinguen rodados dispersos de guijas, sábulos y guijones, y estructuras de corte y relleno. Los materiales más finos son portadores de megafloa. Se observaron troncos de articuladas? siguiendo el plano de estratificación. La capa de conglomerados, con un espesor de 1,50 m, es blanca (N8) y presenta una estratificación cruzada en artesa con rodados dispersos de guijón, paraclastos de pelitas y una muy buena preservación de rodados imbricados. La sección superior (Fig. 8) es una sucesión de capas de materiales finos compuestos por areniscas verdes (5GY7/1, 5GY6/1), rojizas (10R4/2), púrpuras (5BP6/2), amarillas (5YR7/1, 5YR6/1) y grises (N5 y N7), muy finas y finas macizas o con laminación ondulada, y paralela. Estas areniscas están intercaladas con capas de limo-arcilitas macizas verdes (5GY7/1) y limolitas rojizas macizas (10R3/6) con estratificación tabular irregular. Se observan también calcos de

carga, ondulitas simétricas o de onda y nódulos cementados por carbonato de 0,35 x 0,20 m de color 5R4/2. Al igual que en la sección anterior, se encontraron briznas y restos de tallos. Por último, hay que mencionar la presencia de trazas fósiles con forma tubular de 3 mm de diámetro con estructura interna en forma de menisco.

Al sur del área estudiada, los afloramientos de la Formación Saucés se hallan en contacto con el basamento cristalino por medio de una falla normal de alto ángulo de rumbo NO (Fig. 6 b). El rumbo de las capas varía entre N315° y N2° y la inclinación entre 8°O y 24°O. El arreglo vertical es granodecreciente, los depósitos de la base están formados por conglomerados castaño claro (5YR8/1) de guijas y guijarros con guijones dispersos, observándose principalmente rodados de ortogneis y en forma subordinada rodados de granitos. Las capas de conglomerados presentan estructuras de corte y relleno y buenos tripletes de clastos imbricados. Hacia arriba se observan intercalaciones de arenisca muy gruesa y muy fina con laminación inclinada de bajo ángulo y estratificación cruzada en artesa. Las capas de areniscas del tope presentan un característico rojo anaranjado (10R4/6).

En el lado este del lago, en el perfil de la quebrada Santa Rita (Figs. 5 a y b), la unidad está marcada por la aparición de las primeras capas de areniscas rojizas y castañas acompañadas en menor medida por algunas capas verdes, amarillas y grises con estratificaciones lenticulares, cruzadas y paraclastos de pelitas, con algunos cuerpos conglomerádicos castaños y grises de poco espesor (Fig. 3). Por arriba se observa un conjunto de materiales más finos compuestos por limolitas grises laminadas intercaladas con areniscas de poco espesor, rojizas en su mayor parte, algunas gris oscuro y gris claro. En una de las capas de limolitas y areniscas muy finas se reconocieron fructificaciones bien preservadas. En la parte superior, el tamaño de grano varía entre las areniscas muy finas y muy gruesas. Predominan los estratos grises claros (N6, N7 y N8) con algunas capas rojizas (5R4/2, 5R6/2 y 10R3/4) intercaladas. Se observan lentes con techo convexo y base cóncava y nódulos cementados por carbonato. En orden de importancia, se observaron estruc-



**Figura 8:** Perfil 2 en el paraje la Pollera de la Gitana (véanse ubicación en la figura 1 y referencias en la figura 10). Corresponde a la parte media y superior de la Formación Saucés. En el sector central se destacan los niveles de canales fluviales arenosos que caracterizan a esta unidad.

turas lenticulares, cruzadas, tabulares irregulares y macizas.

Por otro lado, en el sector noreste del área se ubican afloramientos menores (Fig. 1) conformados por conglomerados sabulíticos con intercalaciones pelíticas. En la parte media se observan capas con inclinaciones entre 60°E y 82°E, asociadas a un juego de fallas inversas con rumbo N346°. En el mismo sector se reconocieron improntas y restos de tallos. Hacia el oeste del afloramiento, las capas tienen rumbo e inclinación de N355°/26°O.

**Contenido paleontológico:** En la palinoflora de la Formación Saucés se evidencia el dominio de esporas trilete (65%) vinculadas principalmente con las filicópsidas y esfenópsidas, mientras que un 20% corresponde a granos monosacados y un 5% a subordinados en donde se encuentran granos de polen bisacados taeniados y no-taeniados y poliplicados principalmente de los géneros *Protobaploxypinus*, *Illinites*, *Pteruchipollenites* y

*Vittatina* (di Pasquo 2004, Pieroni 2004). Por otra parte, elementos algales (*Botryococcus braunii* y *Brazílea scissa*) y otros *incertae sedis* (*Portulites gondwanensis*) se encuentran escasamente representados en casi todos los niveles estudiados. La asociación superior presenta una estrecha similitud con las biozonas FS del Pérmico Temprano, ambas de la cuenca Paganzo, y también con la Biozona *Vittatina costabilis* de la cuenca Paraná, particularmente con la Sub-biozona *Protobaploxypinus goraiensis* datada como sakmariana-artinskiana (Pérmico Temprano, di Pasquo 2004, Pieroni 2004).

El material megaflórico coleccionado es escaso y presenta un regular estado de preservación en comparación con lo hallado en la Formación Libertad. Comprende fragmentos de improntas de frondes, tallos, hojas, compresiones y moldes de semillas. Se observaron, en diferentes niveles, varias improntas de tallos correspondientes a articuladas de porte arborecente.

*Edad y correlación:* la edad Pérmico Inferior de la Formación Sauces fue propuesta por di Pasquo (2004) basado en la asociación de palinomorfos (di Pasquo 2004, Pieroni 2004). La asociación de palinoflora presenta una gran similitud con la biozona FS (Pérmico Temprano), ambas pertenecientes a la cuenca Paganzo (di Pasquo *et al.* 2004, Pieroni 2004).

*Paleocorrientes:* Las mediciones de paleocorrientes de la Formación Sauces fueron realizadas en afloramientos de la quebrada Santa Rita, en la Pollera de la Gitana, al norte de la mina El Dorado, en la quebrada del Alumbre y en el sector SSE del área de estudio. En este caso, las características de las facies sedimentarias, predominancia de material fino macizo o con estratificación tabular, permitieron la medición de 35 direcciones de paleoflujo, principalmente en artesis y en forma subordinada en clastos imbricados. En el sector oriental del área la media es N229°, variando desde N257° en la base a N160°. En el sector noroeste, Pollera de la Gitana, la media es N225°, variando entre N203° y N242°. Finalmente en el sector sur del área, la media es N°136, variando entre N88° y N175°.

*Análisis de facies y paleoambientes:* El análisis de facies de los perfiles estratigráficos (Figs. 7

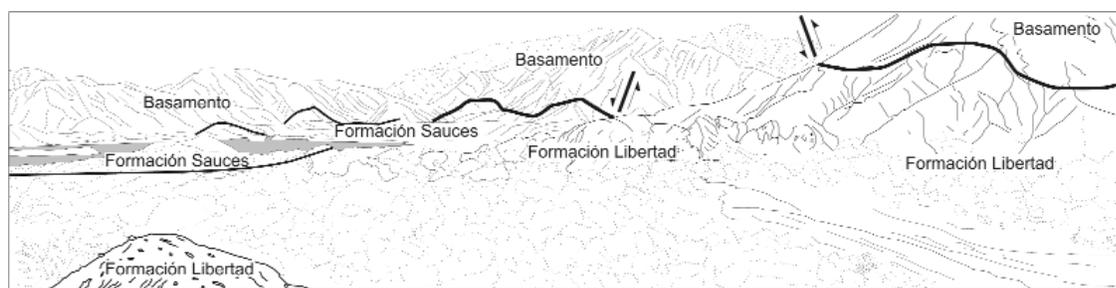
y 8) permitió definir nueve facies para la Formación Sauces, una conglomerádica (Ga<sub>1</sub>), cuatro de areniscas (Sa, Sm, So, Sp) y cuatro de pelitas (Lp, Lm, Lo, Ah).

Las asociaciones de facies (AF) y el análisis de paleocorrientes indican que el paleoambiente de la Formación Sauces corresponde a un sistema de canales arenosos entrelazados (Bridge 1993, AF 1: Ga, Sa, So) relacionados con una planicie de inundación limo arenosa (AF 2: Sm, Sp, Lp, Lo), con desarrollo de algunas charcas o lagunas menores (AF 3: Ah, Lm) producto de segmentos abandonados de canal o depresiones de la planicie y un menor desarrollo de vegetación en comparación a la Formación Libertad.

#### CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y DISCUSIÓN

La propuesta litoestratigráfica realizada por Amos y Zardini (1962) dividía la columna geológica neopaleozoica del área del dique Los Sauces, de abajo hacia arriba, en tres Formaciones: Libertad, Sauces y Prudencia. Según estos autores, uno de los principales problemas para integrar la columna estratigráfica es la falta de continuidad entre las unidades litoestratigráficas, excepto en la

zona entre las quebradas del Chileno y del Alumbre donde existe contacto entre las Formaciones Libertad y Prudencia. La Formación Prudencia fue definida por Amos y Zardini (1962) como una secuencia conglomerádica rojo oscuro que constituía el techo de la secuencia estratigráfica neopaleozoica antes mencionada y que se diferenciaba de los conglomerados morados de la Formación Libertad por su litología y textura y la presencia de bancos de arcilitas blancas, elemento ausente, en la Formación Libertad. A su criterio, estos puntos eran suficientes y justificaban la separación entre ambas unidades. Reconocían los afloramientos de la Formación Prudencia en la región sudoeste y también en una pequeña porción de afloramientos hacia el noreste. Las observaciones realizadas recientemente por Pieroni (2004) han permitido definir las relaciones de contacto entre los depósitos neopaleozoicos y el basamento cristalino. En el lado este del área, la Formación Libertad se apoya en forma paraconcordante sobre el basamento granítico peneplanizado. En el sector noroeste, sur y sudoeste el contacto entre el basamento y la Formación Sauces es a través de una falla inversa de alto ángulo. En el sector Oeste el contacto es también por falla pero es la Formación



**Figura 9:** Vista panorámica hacia el sur de los afloramientos neopaleozoicos ubicados al oeste del lago. Hacia la derecha se observa el basamento granítico en contacto por falla inversa con la sucesión de areniscas grises y conglomerados rojizos de la Formación Libertad. En forma transicional y concordante le siguen las areniscas rojizas de la Formación Sauces cuyos depósitos forman pequeñas islas en el lago. Obsérvese en primer plano a la izquierda, parte de los conglomerados morados asignados a la Formación Libertad (antes asignados a la Formación Prudencia por Amos y Zardini 1962).

REFERENCIAS		
COLOR	ESTRUCTURAS	RESTOS VEGETALES
Negro	Laminación paralela	Fragmentos vegetales aislados
Blanco	Lam. paralela mal definida	Abundantes hojas y tallos bien preservados
Gris oscuro	Macizo	Briznas
Gris claro	Estratificación en artesa o tangencial simple	Troncos y ramas
Castaño oscuro	Estratificación tabular irregular	Palinoflora del Pérmico Inferior
Castaño claro	Estratificación lenticular	Palinoflora del Carbonífero Superior tardío
Amarillo oscuro	Estratificación tabular planar	CONTACTOS
Amarillo claro	Estr. inclinada de bajo ángulo	Plano bien visible
Rojo oscuro	Rodados dispersos	Ondulado
Rojo claro	Ondulitas	Irregular
Purpura oscuro	Estratificación ondulada	GRANULOMETRIA
Purpura claro	Estructura cruzada en artesa	Pelitas   Areniscas   Gravias
Verde claro	Paraclasto de pelita	Arc   mf   m   mg   f   g
Azul claro	Paleocorriente	L   f   g   s   m

Figura 10: Referencias de los perfiles sedimentológicos.

Libertad la que está en contacto con el basamento. Los contactos por fallas corresponden a una fase compresiva posterior que produjo la fracturación y el plegamiento de los depósitos.

El espesor medido en los perfiles de la Formación Libertad es variable y disminuye de 113 m a 57 m, en sentido oeste-este. Esta diferencia se debe a la posición de los perfiles en el depocentro, los afloramientos del lado oeste del lago se encuentran ubicados en la zona de máxima subsidencia y las exposiciones en el este corresponden a una zona periférica al hemigraben principal.

La Formación Saucos se apoya sobre la Formación Libertad en forma concordante y transicional, excepto en las zonas antes mencionadas en donde la Formación Saucos está en contacto con el basamento mediante una falla. De acuerdo a las mediciones efectuadas, el espesor máximo de la Formación Saucos es de 156 m, el que surge de la integración de dos de los perfiles relevados (Pollera de la Gitana y margen oeste del lago), ya que el espesor de la unidad en el perfil de la quebrada Santa Rita es de sólo 32 m debido a una exposición parcial de los estratos (Pieroni 2004).

Los bancos conglomerádicos presentan variaciones laterales de espesor, color y textura siendo, algunas veces, reemplazados lateralmente por areniscas grises y pelitas negras. Tanto los conglomerados morados/grises como los rojizos, asignados respectivamente a las Formaciones Libertad y Pru-

dencia por Amos y Zardini (1962) corresponden a variaciones de color del mismo depósito. El color morado o rojizo de las psefitas puede deberse a un alto porcentaje de rodados metamórficos (90 al 95%), a una marcada estacionalidad de las lluvias, y a su posición cercana a la falla que origina los conglomerados. Mientras que los conglomerados grises están formados por 75 % de rodados graníticos y 20% de metamorfitas. Algunas capas de arcilitas varían lateralmente desde 4 metros de espesor, en los sectores sur y oeste, hasta algunos centímetros, en los sectores norte y este. Esto también coincide con la disminución del espesor de los cuerpos conglomerádicos en el mismo sentido. Los mantos de arcilla han dado lugar a su explotación económica décadas atrás.

De acuerdo a la información obtenida a partir de la descripción y análisis de los perfiles, del mapeo detallado y de las observaciones litológicas y estructurales realizadas en el campo, se ha observado que la Formación Prudencia es lateralmente equivalente a la Formación Libertad, por lo tanto, representa sólo a un cambio facial lateral de esta última unidad. Por ello, se propone en este trabajo dejar únicamente a la Formación Libertad como la base de los depósitos neopaleozoicos que forman parte de la columna estratigráfica para esta zona. Sobre esta unidad se apoya en contacto concordante y transicional la Formación Saucos (Pieroni 2004) (Fig. 9).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se considera que la Formación Prudencia es una variación lateral de la Formación Libertad, por lo tanto no tiene sentido conservarla y se propone la redescrición litoestratigráfica para convalidar dos unidades neopaleozoicas en el área del dique Los Saucos: Formaciones Libertad y Saucos (de base a techo). Según los datos paleontológicos (Vergel *et al.* 2000, Carrizo *et al.* 2004, di Pasquo *et al.* 2004, Pieroni 2004), la Formación Libertad tiene una edad carbonífera superior tardía y se atribuye una antigüedad pérmica inferior a la Formación Saucos.

Los paleoambientes de la Formación Libertad corresponden a un ambiente de abanicos aluviales con sistemas de canales gravosos que desembocan en un lago somero. Los abanicos aluviales forman al entrar al lago un depósito de delta de tipo Gylbert. Esta unidad presenta una importante asociación de megaflores característica de ambientes húmedos. En tanto, la Formación Saucos representa un sistema fluvial arenoso relacionado con una planicie de inundación limo arenosa y con un menor desarrollo de vegetación (Pieroni 2004).

El relleno sedimentario se produjo en un hemigraben con mayores espesores en el sector oeste. Un fallamiento normal (actualmente revertido) en el flanco oeste de la zona de estudio dio origen al inicio de la sedimentación. El contacto, en el lado este del área, es normal entre el basamento cristalino labrado (penillanura) y las unidades sedimentarias aflorantes.

Las asociaciones paleoflorísticas identificadas son ricas tanto en número de especímenes como en variedad de especies. Esto se observa en las asociaciones de megaflores y de palinoflora. De las 67 especies de palinomorfos encontradas en el área, 12 son citadas por primera vez para la Cuenca Paganzo (di Pasquo *et al.* 2004 y Pieroni 2004). Los estudios paleontológicos han permitido sustentar la edad de las formaciones estudiadas, lo que permitirá correlacionarlas con otras unidades coetáneas de cuencas neopaleozoicas del centro-oeste de Argentina.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Dr. Hugo A. Carrizo por su ayuda en la determinación del material, fotografías de las especies fósiles y en el trabajo de campo, al Geól. Isidoro Gómez por su colaboración en las tareas de campo, al Dr. Rafael Herbst por la lectura crítica del trabajo, sus sugerencias ayudaron a mejorar la versión final del manuscrito, a la Geól. Lucía Aráoz por su ayuda en lo concerniente al contenido paleontológico, al Dr. Carlos Azcuy por sus sugerencias y opiniones acerca de la reconsideración estratigráfica de la zona de estudio. Nuestro agradecimiento también para la Dra. Vergel y la Dra. Di Pasquo por realizar las determinaciones palinológicas. Este trabajo es parte de la Tesis Final de Grado de E.M.P. presentada en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G. y Bortolotti, P. 1981. Estratigrafía y evolución tectónica de la quebrada de La Rioja. *Acta Geológica Lilloana* 15(3): 31-39, Tucumán.
- Aceñolaza, F. G., Miller, H. y Toselli, A. J. 2000. Geología de la Sierra de Velasco, provincia de La Rioja, Argentina. *Geowissenschaftliches lateinamerika - kolloquium. Profil, Band 18. Extended Abstracts in CD-ROM. Stuttgart.*
- Amos, A.J. y Zardini, R.A. 1962. Geología de algunos depósitos de arcillas de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17(1-2): 47-83, Buenos Aires.
- Azcuy, C. L. y Césari, S. N. 1980. Primeros estudios sobre plantas fósiles de la Formación Libertad, provincia de La Rioja, Argentina. *Paleobotánica e Areas Afins na America de Sul. Universidades de Sao Paulo, Boletín IG, Instituto de Geociencias* 5(11): 49-55, San Pablo.
- Azcuy, C. L., Carrizo, H. A. y Caminos, R. 1999. Carbonífero y Pérmico de las Sierras Pampeanas, Famatina, Precordillera, Cordillera Frontal y Bloque de San Rafael. En Caminos, R. (ed.) *Geología de la República Argentina, SEGEMAR, Anales* 29(12): 261-318.
- Blair, T.C. y McPherson, J.G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research* A64(3): 450-489.
- Bortolotti, P. 1979. Contribución al conocimiento geológico del Cerro La Cruz - Dique Los Sauces. Departamentos Capital-Sanagasta. Provincia de La Rioja. República Argentina. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Seminario, 79 p., Tucumán.
- Bossi, G.E., Picolli, A.E. y Andreis, R. 1979. Descrição de de perfil estratigraficos um metodo grafico. *Simposio Regional de Geología, Actas* 2: 225-240, Rio Claro.
- Bridge, J.S. 1993. The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. En Best, J.L. y Bristow, C.S. (eds.) *Braided Rivers, Geological Society, Special Publication* 75: 13-71.
- Braccacini, O. 1946. Los estratos de Paganzo y sus niveles fosilíferos en la Sierra de Los Llanos (provincia de La Rioja). *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 1(1): 19-61, Buenos Aires.
- Braccacini, O. 1948. Sobre la presencia de Carbonífero Inferior en la sierra de los Llanos. *Boletín de informaciones Petroleras* 25(281): 63-94. Buenos Aires.res.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. 2º Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 1: 225-291, Córdoba.
- Carrizo, H. A., Pieroni, E., Georgieff, S. M. y Azcuy, C. L. 2004. Fitozona de Intervalo en la Formación Libertad, Carbonífero Tardío tardío. Dique Los Sauces, provincia de la Rioja, Argentina. 11º Reunión de Paleobotánicos y Palinólogos, Resumos: 44, Gramado.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C. y Ramos, V. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews* 18: 303-332.
- Di Pasquo M., Vergel M. M., Carrizo H. A. y Azcuy C.L. 2004. Palinofloras del Carbonífero Tardío - Pérmico Temprano del área del Dique Los Sauces, provincia de la Rioja, Argentina. 11º Reunión de Paleobotánicos y Palinólogos, Resumos: 58, Gramado.
- Lunt, I.A., Bridge, J.S. y Tye, R.S. 2004. A quantitative, three dimensional depositional model of gravelly braided rivers. *Sedimentology* 51: 377-414.
- Massari, F. y Colella, A. 1988. Evolution and types of fan delta systems in some major tectonic setting. En W. Nemeč y Steel, R.J. (eds.) *Fan deltas: Sedimentology and Tectonic Settings:* 101-122.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. En A.D. Miall (ed.) *Fluvial Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir* 5: 579-604, Calgary.
- Nemeč, W. y Steel, R. 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significance features and some comments of gravelly mass-flow deposits. En Koster, E.H. y Steel. R.J. (eds.) *Sedimentology of gravels and conglomerates, Canadian Society Petroleum Geologists, Memoir* 10: 1-31.
- Pieroni, E. M. 2004. Análisis paleoflorístico y paleoambiental del Neopaleozoico del área del dique Los Sauces, provincia de La Rioja. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Seminario, 120 p., Tucumán.
- Rapela, C.W., Coira, B., Toselli A.J. y Llambías, E.J. 1999. Sistema Famatiniano de las Sierras Pampeanas y magmatismo eopaleozoico de las Sierras Pampeanas, de la Cordillera Oriental y Puna. En Caminos, R. (ed.) *Geología de la República Argentina. SEGEMAR, Anales* 29 (12): 261-318.
- The Rock-Color Chart Committee 1991. *The Geological Society of America Rock-Color Chart, Boulder.*
- Vergel, M.M., Pieroni, E.M. y Carrizo, H.A. 2000. Registro palinológico en sedimentitas neopaleozoicas del área del dique Los Sauces, provincia de La Rioja, Argentina. 11º Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología (Tucumán), *Ameghiniana* 37(4): Suplemento 64R., Buenos Aires.

Recibido: 20 de abril, 2006

Aceptado: 2 de octubre, 2006