

FORMACIÓN TACUARÍ (NOV. NOM.): LITOESTRATIGRAFÍA, FACIES, AMBIENTE, EDAD Y SIGNIFICADO GEOLÓGICO (CERRO LARGO – URUGUAY)

TACUARÍ FORMATION (NOV. NOM.): LITHOSTRATIGRAPHY, FACIES, ENVIRONMENT, AGE AND GEOLOGICAL SIGNIFICANCE (CERRO LARGO – URUGUAY)

Veroslavsky, G.; de Santa Ana, H.; Daners, G.

Dpto. de Evolución de Cuencas, Facultad de Ciencias - Universidad de la República
Iguá 4225, CP 11.400, Montevideo – Uruguay
e-mail: gerardo@fcien.edu.uy

RESUMEN

Se propone la definición de la Formación Tacuarí para reunir un conjunto de rocas siliciclásticas glaciogénicas y fosilíferas depositadas durante el Proterozoico Superior en el noreste de Uruguay. Estas litologías eran incluidas en la Formación San Gregorio (Carbonífero - Pérmico, Cuenca Norte), pero recientemente se constató la presencia de *Leiosphaeridia tenuissima*, *L. minutissima*, *Myxococcoides distola*, *M. siderophila*, *Soldadophycus bossii* y *S. major*. Ese hallazgo motivó la realización de relevamientos que permitieron verificar el origen glaciogénico de la Formación Tacuarí, definir sus relaciones estratigráficas, y corroborar su afectación y desarrollo a lo largo de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena. Se caracterizaron dos asociaciones de facies en la Formación Tacuarí: la base está representada por asociación de facies A (facies de planicies de *outwash*), representada por diamictitas, areniscas y pelitas; y, en tope, la asociación de facies B (facies glaciomarinas) incluye un paquete de ritmitas con *dropstones*. Por el contexto tectónico, la naturaleza de la sedimentación, su edad, y los fósiles asociados, la definición de la Formación Tacuarí constituye un aporte novedoso al modelo evolutivo regional para el Proterozoico Superior. También se discuten posibles correlaciones estratigráficas con otras unidades neoproterozoicas de Gondwana Occidental.

Palabras clave: Formación Tacuarí, litoestratigrafía, Proterozoico Superior, Uruguay.

ABSTRACT

The definition of the Tacuarí Formation is proposed to group a set of glacial and fossiliferous siliciclastic rocks deposited during the Upper Proterozoic in the northeast of Uruguay. Up to this paper, these lithologies were included in the San Gregorio Formation (Carboniferous - Permian, Norte Basin). However, *Leiosphaeridia tenuissima*, *L. minutissima*, *Myxococcoides distola*, *M. siderophila*, *Soldadophycus bossii* and *S. major* were recorded in these rocks. This finding motivated the accomplishment of geological surveys that allowed to verify the glacial origin of the Tacuarí Formation, to define its stratigraphic relationships and to corroborate its affectation by the Sierra Ballena Shear Zone. Two associations of facies were recognized in the Tacuarí Formation: the base is represented by facies association A (outwash plains), characterized by diamictites, sandstones and pelites; at the top, the facies association B (glaciomarine) includes a package of rhythmites with dropstones. On account of the tectonic setting, nature of sedimentation, age, and fossils, the definition of Tacuarí Formation constitutes a novel contribution to the regional evolutionary model of the Upper Proterozoic. Discussion of possible stratigraphic correlations with other neoproterozoic units of Western Gondwana is also attempted.

Keywords: Tacuarí Formation, lithostratigraphy, Upper Proterozoic, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es proponer la creación de la Formación Tacuarí (Proterozoico Superior), unidad que reúne una sucesión sedimentaria siliciclástica, de origen glacial, fosilífera y aflorante al Sur de la ciudad de Melo en el departamento de Cerro Largo (Figura N° 1). Esta sucesión era incluida en la Formación San Gregorio (Carbonífero – Pérmico de la Cuenca Norte) hasta que recientemente Daners et al. (2006) constataron la presencia de *Leiosphaeridia tenuissima*, *L. minutissima*, *Myxococcoides distola*, *M. siderophila*, *Soldadophycus bossii* y *S. major* en las ritmitas con *dropstones* que coronan la sucesión. Cabe señalar que estos restos orgánicos fueron descritos en varias unidades sedimentarias gondwánicas neoproterozoicas de Uruguay, Brasil y Namibia (*vide* Gaucher et al. 2003, Teixeira et al. 2004, Gaucher et al. 2005), donde algunas de esas unidades se encuentran asociadas a depósitos glaciogénicos. Ciertos reparos se plantearon en el seno de la comunidad científica durante el 9° Congreso Argentino de Paleontología, así como a través de comunicaciones personales, en relación a la interpretación de estos restos, en particular los pertenecientes al género *Soldadophycus*. Sin embargo, ante la falta de publicaciones específicas que viertan estos críticos puntos de vista se cita aquí su presencia sobre la base de lo publicado hasta el presente en revistas arbitradas.

Los levantamientos geológicos mostraron que las relaciones estratigráficas de la Formación Tacuarí con la suprayacente Formación Tres Islas (Pérmico) y su deformación asociada a la reactivación de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, sumado al propio registro fósil hallado, sustentan la propuesta de establecer una nueva unidad litoestratigráfica para la columna uruguaya. Además de cumplir con los requisitos estratigráficos para su formalización, se caracterizaron las facies y asociaciones de facies que componen la Formación Tacuarí, proponiéndose para su depositación un ambiente marino bajo influencia glacial. Teniendo en cuenta la situación tectónica, naturaleza sedimentaria, contenido fosilífero y edad, se discute el significado geológico de la Formación Tacuarí en el marco evolutivo local y regional durante el Proterozoico Superior. Por último, se analizaron las posibles correlaciones estratigráficas con unidades de similar origen, contenido fosilífero y edad de Gondwana Occidental.

DEFINICIÓN DE LA FORMACIÓN TACUARÍ

De acuerdo a las guías y normas estratigráficas internacionales (Hedberg 1980, Salvador 1994) se define a la Formación Tacuarí (nov. nom) como una sucesión sedimentaria siliciclástica, de litologías heterogéneas y tonalidades variadas, que incluye diamictitas gruesas, diamictitas estratificadas, subordinadamente areniscas y pelitas, y coronando el tope de la sucesión ritmitas con *dropstones*, de tonalidades variables, desde rojizas, blanquecinas,

violáceas, grises a negras, habiéndose depositado el conjunto en ambiente marino bajo influencia glacial durante el Proterozoico Superior.

Antecedentes: las litologías que se reúnen en la Formación Tacuarí fueron consideradas previamente como parte integrante de la Formación San Gregorio (Preciozzi et al. 1985), unidad ésta que materializa la glaciación gondwánica permocarbonífera en la Cuenca Norte (Goso, 1995; Andreis et al., 1996; de Santa Ana et al., 2006). Ferrando & Andreis (1990) definieron a este conjunto litológico que se exhibe a lo largo de la ruta 8, al Norte del cruce con el río Tacuarí, paraestratotipo de la Formación San Gregorio y lo indicaron como representativo de facies glaciomarinas. Daners et al. (2006) comunicaron que por sus relaciones estratigráficas y contenido fosilífero, esa sucesión no puede formar parte de la Formación San Gregorio, y la nombraron informalmente “Sedimentitas Glaciogénicas del Tacuarí”. Asimismo, integran también la Formación Tacuarí las rocas que se encuentran basculadas dentro del corredor definido por fallas transcurrentes de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, consideradas previamente como parte del basamento ígneo-metamórfico a lo largo del A° Cerro Verde (*vide* Preciozzi et al. 1985, Bossi & Ferrando 2001).

Area y localidad tipo: la sección tipo de la unidad se desarrolla, casi en forma continua, sobre la ruta 8 (km 376,5 a km 381), inmediatamente al Norte del cruce con el río Tacuarí, en el departamento de Cerro Largo, río de donde deriva el nombre de la formación. A ambos lados de la ruta 8 se constata el desarrollo de la unidad (Figuras N° 1 y 2), en actitud horizontal a subhorizontal, existiendo además algunas exposiciones artificiales que constituyen un auxilio para su caracterización en el área. Asimismo, la sucesión se muestra tanto en posición vertical (diamictitas gruesas y areniscas rojizas que afloran en el extremo W del corredor tectónico, próximas a la “escarpa de Tres Islas”), como fuertemente basculada (diamictitas finas, areniscas, pelitas y ritmitas con *dropstones* en el centro y extremo E del corredor) a lo largo del valle del Arroyo Cerro Verde (Figura N° 1). No se conoce con certeza su presencia en otras localidades, tal vez con la excepción de algunos asomos saltuarios más al Norte (e.g. H° ruta 8 km 389 - Frigorífico Pul; Ruta 26 km 7 y sobre el camino vecinal que va desde el Frigorífico Pul a la Ruta 26).

Perfil o sección tipo (estratotipo): la Figura N° 3 muestra el perfil tipo de la unidad expuesto en una faja de afloramientos en actitud horizontal que se desarrollan entre el km 376,5 a km 381 de la ruta 8. La unidad en el valle del A° Cerro Verde expone una sección sedimentaria más potente y parcialmente cubierta, revelando que la sucesión de la ruta 8 es apenas un relicto de la sedimentación glaciogénica preservada.

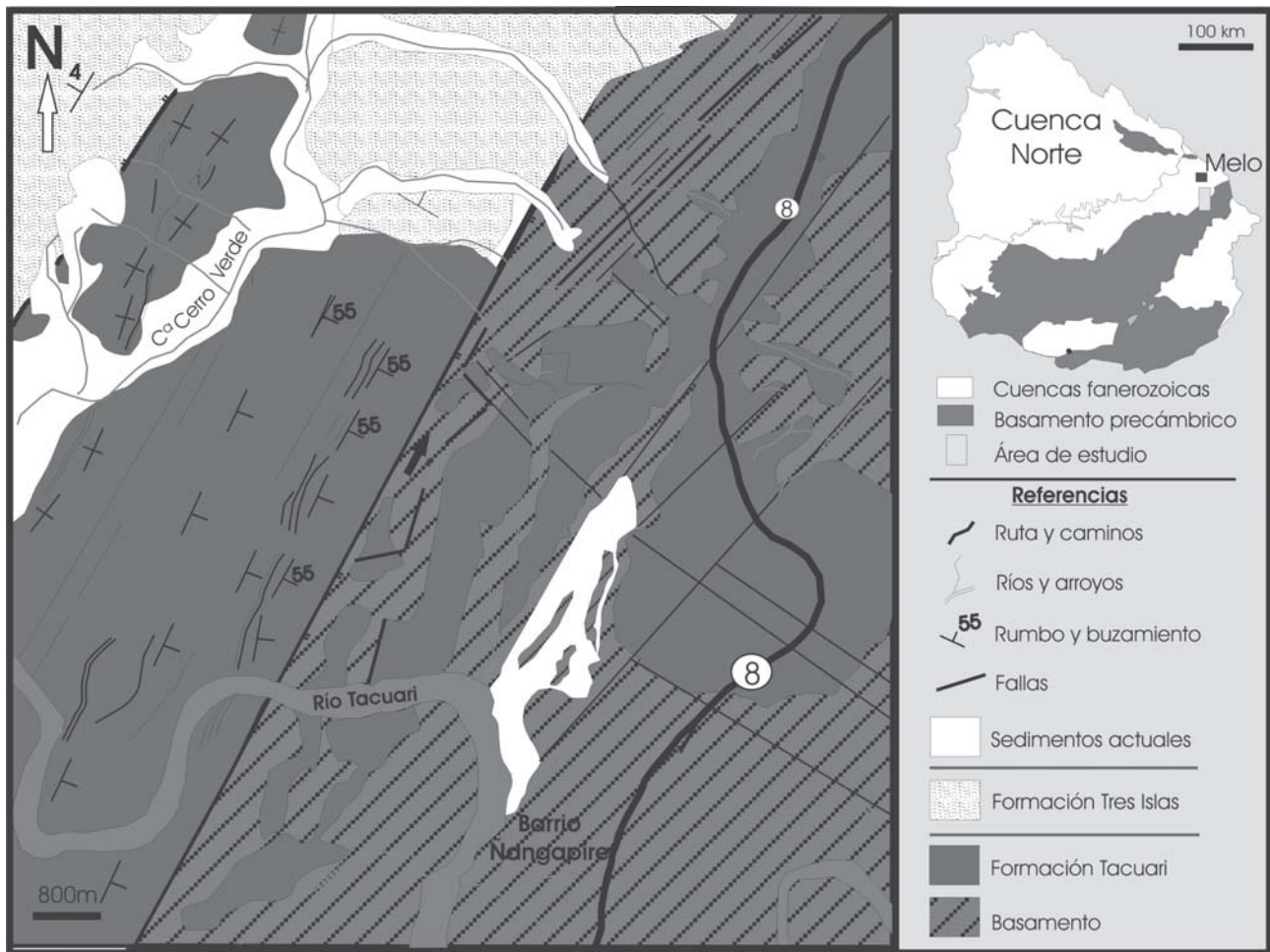


FIGURA N° 1. Mapa geológico del área de ocurrencia de la Formación Tacuarí.

FIGURE 1. Geologic map of the Tacuarí Formation in occurrence region.

Litologías: la unidad está constituida por una sucesión estrato y granodecreciente que se inicia en la base con la alternancia de paquetes decimétricos de diamictitas “estratificadas” y macizas, y areniscas gruesas, ocasionalmente sabulíticas, macizas, con tonalidades variables desde rojizas, violáceas a grises; se suceden diamictitas finas, areniscas y pelitas violáceas a grises y hacia el tope de la unidad remata con una alternancia de estratos de ritmitas con *dropstones*, de tonalidades blanquecinas, rojizas, ocre, grises (hasta láminas negras) a violáceas a los que se intercalan ocasionales paquetes métricos de areniscas marrones a blanquecinas, con estratificación cruzada. Se reconoce, de base a techo de la unidad, la recurrencia de estructuras sedimentarias de deformación, muy particularmente presentes hacia el tope de la sucesión y asociadas a los niveles de ritmitas.

Límites y relaciones estratigráficas: la unidad en el área tipo se apoya en discordancia sobre terrenos graníticos precámbricos que cortan gneisses (Escudo Uruguayo). Hacia el tope, es cubierta en discordancia por las areniscas pérmicas fluvio-deltaicas de la Formación Tres Islas (Figura N°1) así como por sedimentos pelítico-arenosos, de tonalidades marrones, que constituyen los principales

depósitos cuaternarios de la región.

Potencia: la potencia máxima expuesta en la localidad tipo es de aproximadamente 50 m a lo largo de la ruta 8 en su posición horizontal. La Formación Tacuarí a lo largo del corredor tectónico es muy potente, estimándose inicialmente superior a los 800 m, en su mayor parte cubierta por sedimentos actuales a lo largo del valle del A° Cerro Verde.

Edad y paleontología: sus relaciones estratigráficas con la suprayacente Formación Tres Islas (Pérmico Inferior), su deformación por la cinemática tardía de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena sustentan una edad Proterozoico Tardío alto para la depositación de la unidad. A su vez, la asociación palinológica hallada, compuesta por *Leiosphaeridia tenuísima*, *L. minutissima*, *Myxococcoides distola*, *M. siderophila*, *Soldadophycus bossi*, *S Major* (Figura N° 4), es consistente con esta edad.

Correlación geológica: la unidad puede ser correlacionada por su edad con los depósitos glaciogénicos de la Formación Playa Hermosa (Fambrini et al. 2003, Pazos et al. 2003), a pesar que estos últimos han sido depositados en una situación de cuenca y contexto tectónico muy diferente. Por su

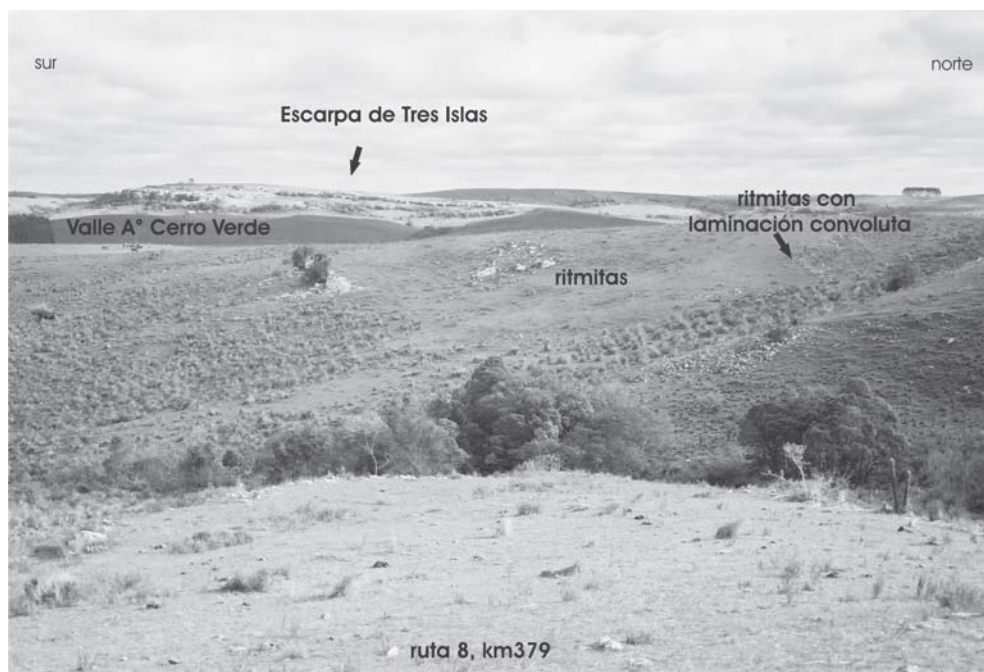


FIGURA N° 2. Vista general de los afloramientos de la Formación Tacuarí desde la ruta 8 km 379. Al fondo, la escarpa de las areniscas de Tres Islas en la región occidental.

FIGURE 2. Panoramic view of the Tacuarí Formation in the road 8. At the back, Tres Islas sandstones in the scarp of the Occidental region.



FIGURA N° 3. Sección columnar (estrato tipo) de la Formación Tacuarí en la localidad tipo: litología, facies y asociaciones de facies. É% Ritmitas fosilíferas.

FIGURE 3. Columnar section (stratotype) of the Tacuarí Formation at the type locality (Tacuarí river and road 8): lithology, facies and facies association. É% Fossiliferous rhythmites.

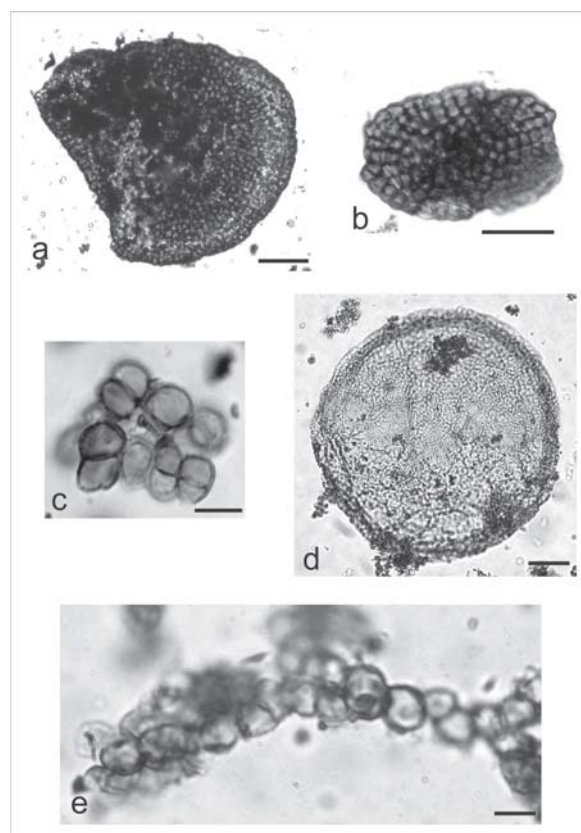


FIGURA N° 4. Restos microscópicos orgánicos de la Formación Tacuarí: a: *Soldadophycus major*; b: *S. bossii*; c: *Myxococcoides distola*; d: *Leiosphaeridia tenuissima*; e: *M. siderophila*. Escala: a, d = 25 µm; b, c, e = 10 µm.

FIGURE 4. Organic remains of the Tacuarí Formation: a: *Soldadophycus major*; b: *S. bossii*; c: *Myxococcoides distola*; d: *Leiosphaeridia tenuissima*; e: *M. siderophila*. Scale: a, d = 25 µm; b, c, e = 10 µm.

contenido fosilífero y edad, la Formación Tacuarí puede ser correlacionada con el Grupo Arroyo del Soldado (Gaucher et al. 1996) y la Formación Las Ventanas (Blanco & Gaucher 2005).

FACIES, ASOCIACIONES DE FACIES Y AMBIENTE SEDIMENTARIO

El conjunto de facies aquí considerado fue previamente estudiado en el análisis de la Formación San Gregorio, total o parcialmente, por Ferrando y Andreis (1990), Goso (1995), Andreis et al. 1996, Goso & Gama Jr. (1998) y de Santa Ana (2004). La Formación Tacuarí es subdividida aquí en dos asociaciones de facies. La asociación de facies A caracteriza la sección inferior de la sucesión y la asociación de facies B la superior (Figura N° 3).

Descripción de facies y asociaciones de facies

La asociación de facies A está integrada por las facies de diamictitas (Figura N°5), y subordinadamente, facies de areniscas y de pelitas. Las diamictitas son macizas, a veces con esbozo de gradación normal, y aparecen comúnmente estratificadas, donde cada uno de los ciclos deposicionales diamictíticos centimétricos a decimétricos son cubiertos por un delgado nivel pelítico a arcilloso (*vide* Ferrando y Andreis 1990, Andreis et al. 1996). En general, las diamictitas muestran tonalidades variadas que van desde rojizas a violáceas, poseen geometría tabulariforme y matriz pelítica a pelítica-arenosa. Las diamictitas rojizas que se observan en actitud vertical en el extremo Oeste

del corredor estructural son más gruesas, macizas y se desarrollan en bancos más potentes. La matriz de las diamictitas presenta inmersos clastos de tamaño variable, en general sabulítico y arenoso, pero alcanzando tamaños de hasta 25 cm no descartando la posibilidad que algunos puedan ser clastos caídos (*dropstones*). Es también común la presencia de estructuras de deformación asociadas a estos términos, como calcos de carga y estructuras *dish*.

Las areniscas son predominantemente gruesas a medias, mal seleccionadas, cuarzo-feldespáticas a líticas, de tonalidades rojizas, blanquecinas a violáceas, en general macizas, a veces con gradación normal y con estratificación cruzada mal preservada, se preservan ocasionalmente óndulas en el tope de los estratos, los que poseen geometrías lentiformes con potencias que, en general, no superan el metro. Las pelitas son macizas a finamente laminadas, violáceas a grises, con geometría tabulariforme. Se intercalan a los términos anteriores en estratos delgados, de potencias decimétricas, a veces discontinuos, probablemente erosionados. El desarrollo de las pelitas, con clastos de arena inmersos, se hace más importante hacia el tope de esta asociación de facies A.

Todos los términos que integran la asociación de facies A se reconocen apoyados sobre el basamento granítico expuesto en la ruta 8 y áreas adyacentes. La asociación de facies A supera los 20 m de potencia en esa zona.

La asociación de facies B está constituida por facies de ritmitas con *dropstones* (Figura N° 5) y facies de areniscas finas con estratificación cruzada. Las ritmitas constituyen más del 90% de esta asociación, y está definida por una alternancia de láminas/estratos que contrastan por sus tonalidades claras y oscuras. Las primeras corresponden a granulometrías limo a arena fina y las segundas a granulometrías finas y/o francamente arcillosas. Los espesores de los pares rítmicos son muy variables, y pueden ir desde 0,2 a 7cm. Las láminas/estratos claros presentan internamente laminación horizontal, óndulas de corriente,

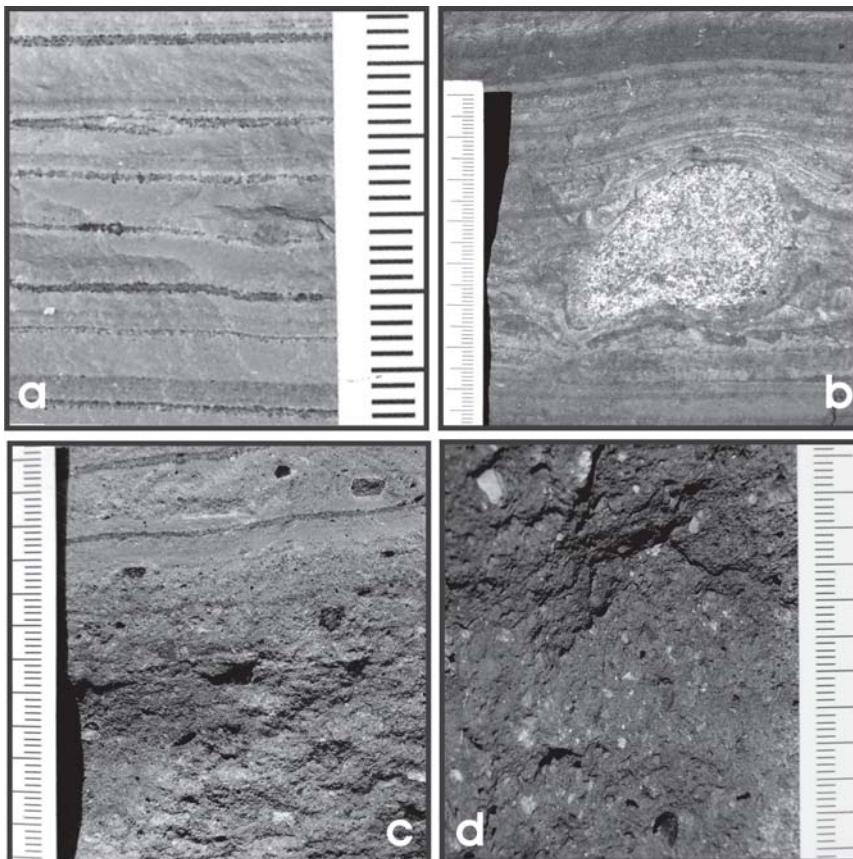


FIGURA N° 5. Detalle de principales facies de la Formación Tacuarí: a) ritmitas con laminación fina y *dropstones*; b) ritmitas con *dropstones*; c) diamictitas estratificadas y d) diamictitas macizas (divisiones menores de la escala en mm)
FIGURE 5. Representative examples of Tacuarí Formation facies a) finely parallel-laminated rhythmites with dropstones, b) rhythmites with dropstones, c) stratified diamictites and d) unstratified diamictites, scale minor divisions = mm.

marcas onduladas clino-ascendentes y, ocasionalmente, gradación normal. En ocasiones también algunos pares de láminas/estratos muestran estructura masiva. Las tonalidades son variadas, grises, negras, blanquecinas, violáceas, rojizas y ocre. Son comunes los niveles intraestratales con figuras de deformación: pliegues sinsedimentarios y laminación convoluta, los que a su vez en general se asocian a un nivel fuertemente silicificado que sobresale al controlar el desarrollo de una cornisa en la topografía ondulada que define el área de ocurrencia de la Formación Tacuarí. Son comunes los niveles de ritmitas con *dropstones*, donde los clastos caídos son de composición y diámetro variables, predominando los graníticos y gnéisicos así como los de tamaño entre 4 a 8 cm (Figura N° 5), aunque se han medido algunos de 65 cm de diámetro. Por último, aparecen en las ritmitas concreciones de óxido de hierro tubulares, verticales y de diámetro centimétrico, cuya génesis posiblemente esté asociada a procesos de bioturbación. Se reconoce la presencia de bloques erráticos, de composición granítica, apoyados sobre estas litologías.

Las areniscas se presentan en niveles lentiformes y poseen estratificación cruzada, a veces esbozando estratificación subhorizontal. Estas areniscas aparecen intercaladas a las ritmitas en lentes que no superan el metro. La potencia estimada para la asociación de facies B a lo largo de la ruta 8 es 20 m, aunque en los afloramientos y pequeñas canteras que se desarrollan inmediatamente al Oeste de ruta 8 logra superar los 30 m.

Paleoambiente sedimentario

La Formación Tacuarí fue depositada en un ambiente marino bajo la influencia glacial, coincidiendo con la interpretación general dada por Andreis et al. (1996) para estas litologías. El modelo de facies se basa en Eyles et al. (1985),

correspondiendo el conjunto de facies de la unidad a un ambiente glacimarino proximal (Figura N° 6). La sección inferior, corresponde a depósitos de planicies de *outwash* (asociación de facies A, Figura N° 3), bajo una situación paleogeográfica que propició la alternancia de flujos de masa (diamictitas), corrientes tractivas (areniscas) y episodios de decantación/tracción (pelitas). La asociación de facies B (Figura N° 3) fue depositada en una situación marina más distal, donde predominaba la sedimentación a través de flujos tractivos de baja densidad y decantación (ritmitas y turbiditas). En ese cuerpo de agua, donde la influencia marina está sustentada también en algunos fósiles, se sucedían las ocasionales caídas de clastos (*dropstones*) que llegaban al fondo por derretimiento de *icebergs* así como esporádicos flujos tractivos que permitían la intercalación de las arenas finas (Figura N° 6).

Las estructuras de deformación (pliegues sinsedimentarios y laminación convoluta, Figura N° 7), son comunes en ambientes glacimarininos (Eyles et al. 1985) y están presentes a lo largo de toda la asociación de facies B. Especies de *Myxococcoides* y *Leiosphaeridia* corroboran la influencia marina para los depósitos del tope de la unidad.

DISCUSIÓN: SIGNIFICADO DE LA FORMACIÓN TACUARÍ

La Formación Tacuarí por la posición tectónica que ocupa, su naturaleza sedimentaria, contenido paleontológico y edad, constituye una unidad significativa en el cuadro evolutivo regional durante el Proterozoico Superior. Cabe señalar que, en nuestro territorio, la interpretación de la evolución geológica durante ese período mantiene controversias conceptuales importantes que inciden directamente en aspectos de la geología aplicada, así como en las propuestas de reconstrucción paleogeográficas y de aglutinación del Gondwana Occidental (Bossi 2002). Por otro lado, se debe incluir a la Formación Tacuarí en el amplio número de registros glaciogénicos neoproterozoicos que se distribuyen en casi todos los continentes y caracterizan este momento de la evolución de la Tierra (Hambrey & Harland 1985). Es importante mencionar que el número de glaciaciones propuestas y conocidas para el Neoproterozoico varía entre dos y cuatro (Hoffman et al. 1998; Kennedy et al. 1998), las que se sitúan en los períodos glaciales del Sturtiense (H" 790 – 700 Ma) y del Varangeriense/Marinoense (H" 620 – 580 Ma). Es probable que la Formación Tacuarí, por lo aquí expuesto, fuera depositada durante el Ediacareense, constituyendo así conjuntamente con la Formación Serra Azul de Brasil (Alvarenga et

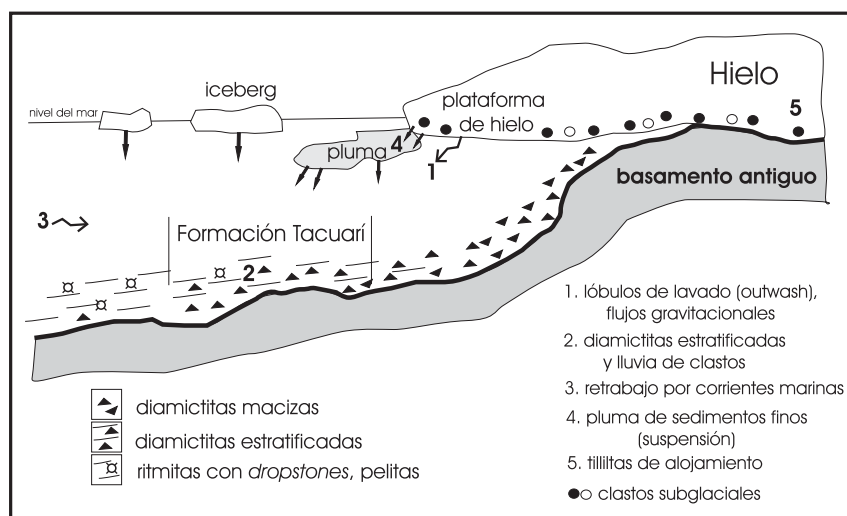


FIGURA N° 6. Procesos y depósitos sedimentarios asociados a un ambiente glacimarino (según Eyles et al. 1985 y Ulhein et al. 2004), y contexto deposicional para la Formación Tacuarí.

FIGURE 6. Processes and sedimentary deposited related of glaciomarine environment (from Eyles et al. 1985 and Ulhein et al. 2004) and the depositional framework of the Tacuarí Formation.

neoproterozoicos que se distribuyen en casi todos los continentes y caracterizan este momento de la evolución de la Tierra (Hambrey & Harland 1985). Es importante mencionar que el número de glaciaciones propuestas y conocidas para el Neoproterozoico varía entre dos y cuatro (Hoffman et al. 1998; Kennedy et al. 1998), las que se sitúan en los períodos glaciales del Sturtiense (H" 790 – 700 Ma) y del Varangeriense/Marinoense (H" 620 – 580 Ma). Es probable que la Formación Tacuarí, por lo aquí expuesto, fuera depositada durante el Ediacareense, constituyendo así conjuntamente con la Formación Serra Azul de Brasil (Alvarenga et



FIGURA N° 7. Detalle de laminación convoluta en ritmitas del tope de la sucesión, divisiones menores de la escala en mm (ver Figura N° 2)
FIGURE N° 7. Rhythmites with convolute lamination at the top of the succession, scale minor divisions = mm (see Figure N° 2)

al., en prensa) uno los registros más jóvenes para el Proterozoico Superior de la Plataforma Sudamericana.

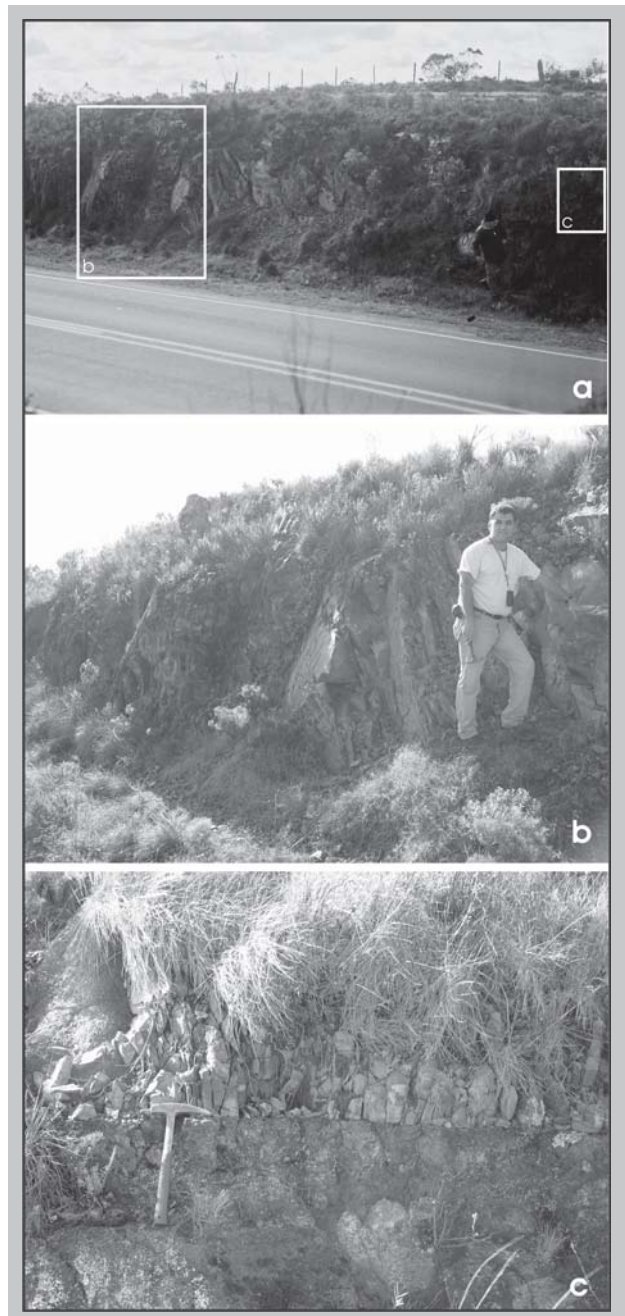
Contexto tectonoestructural

La Formación Tacuarí se muestra afectada por la tectónica asociada a la reactivación de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena (Figuras N° 8, 9 y 10). A lo largo de ese corredor tectónico, alto estructural de dirección N10°-15°, la sucesión sedimentaria glaciogénica se muestra basculada o inclusive casi vertical (Figuras N° 10 y 11) y afectada por fallas de rumbo de componente sinistral, verticales a subverticales y subparalelas. El bloque diagrama de la Figura N° 12 muestra la estructura geológica de la región. Hacia el Este, fuera de la influencia directa del corredor tectónico, la sucesión sedimentaria se dispone horizontal a subhorizontal (Figura N° 1). La Formación Tacuarí también está afectada por fallas secundarias subverticales y de dirección NW. El desplazamiento sinistral de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, según Bossi (2002), estaría acotado por un magmatismo de edad comprendida entre los 530 Ma y 520 Ma, mientras que Oyhançabal et al. (2006) establecieron una edad de 580 ± 5 Ma para una segunda fase de deformación transcurrente a partir de una datación Ar/Ar en muscovita de las cuarzo-milonitas de la cizalla en un área más al Sur. Lo anterior, es considerado consistente con la edad Proterozoico Tardío alto propuesta aquí para la Formación Tacuarí.

Asimismo, se concibe a la Formación Tacuarí como parte integrante de la cobertura sedimentaria neoproterozoica del Terreno Cuchilla Dionisio o Dominio Oriental (Bossi y Campal 1992, Masquelín 2006). La sucesión glaciogénica descrita se conoce hasta el presente restringida al denominado Bloque Sierra Ríos, elemento cortical delimitado por las zonas de cizallas de Sierra Ballena y Otazo (*vide* Masquelín op. cit.) y con la excepción de la Formación Paso del Dragón (Preciozzi et al. 1985), no se conocía la existencia de otra cobertura precámbrica para el extremo norte de este dominio.

FIGURA N° 8. a: vista general de los afloramientos de la Formación Tacuarí, ruta 8, km377.8. b: detalle de fallas asociadas a cinemática de la estructura Sierra Ballena afectando la unidad. c: contacto discordante entre la Formación Tacuarí y el basamento granítico.

FIGURE 8. a: panoramic view of the outcrop at the road 8. b: detail of the thick strike-slip fault zone associated with the Sierra Ballena structure. c: unconformable contact between Tacuarí Formation and Precambrian Granite.



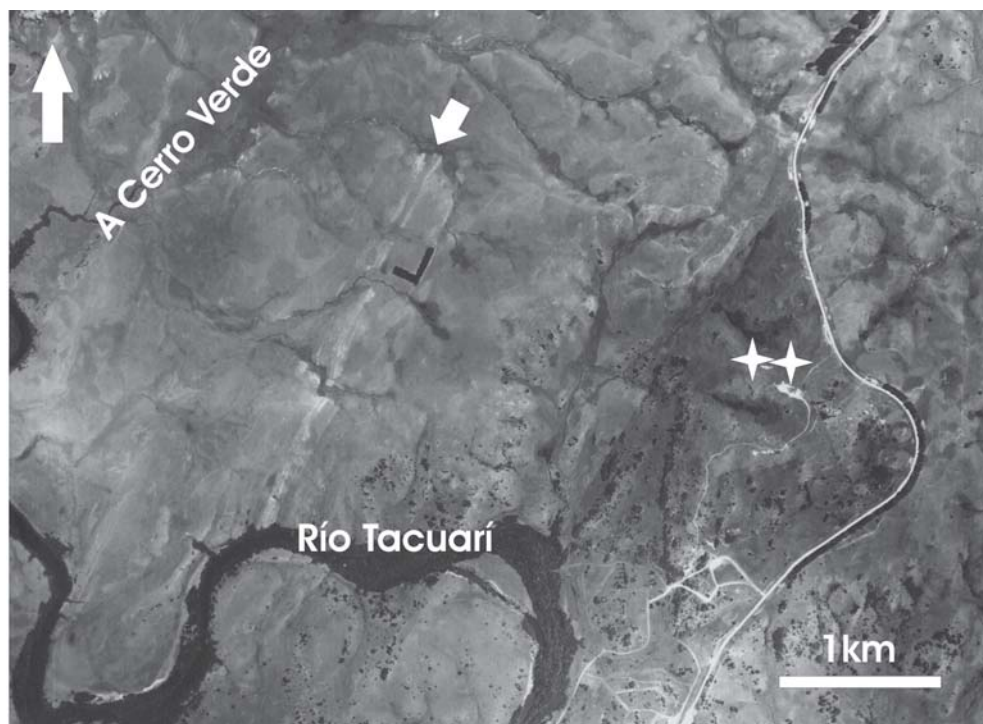


FIGURA N° 10. Foto área de la localidad tipo de la Formación Tacuarí. Se observa el desarrollo de la secuencia sedimentaria basculada del Valle del A° Cerro Verde, la flecha indica lugar desde donde es tomada la foto de la Figura N° 9, las cruces señalan las pequeñas canteras de ritmitas.

FIGURE N° 10. Aerial photograph of Tacuarí Formation type locality. The development of the tilted sedimentary sequence of the A° Cerro Verde valley can be seen; the arrow indicates the location from which the picture (of the Figure 10) was taken; cross show rhythmite quarry.



FIGURA 10. Intercalación de diamictitas, areniscas y ritmitas con *dropstones* de la Formación Tacuarí (N10° buz. 55° a 65° E) a lo largo de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena (A° Cerro Verde).

FIGURE 10. Interbedded diamictites, sandstones and rhythmites with *dropstones* of the Tacuarí Formation (strike N°10° and dip 55° - 65° E) developed along Sierra Ballena Shear Zone.

Contexto estratigráfico

La Formación Tacuarí reabre la discusión sobre la asignación estratigráfica de un conjunto de afloramientos que se distribuyen en los alrededores de la ciudad de Melo. Sobre la complejidad geológica de esa región se refirió Walther (1924) y en particular, llamó la atención sobre los espesores alcanzados en el subsuelo para la sección paleozoica (> 470 m), sin llegar al basamento cristalino. Algunas viejas controversias sobre la geología de los alrededores de Melo se centran en torno a la asignación estratigráfica de la sucesión sedimentaria que aparece en la localidad de La Pedrera (Figura N° 11), así como por el asomo del “predevoniano” a pocos kilómetros al Este de la ciudad, sobre la ruta 26 (*vide* de Santa Ana et al. 2002). Se discute aquí la asignación estratigráfica de algunas sucesiones sedimentarias que afloran en la región a la luz del hallazgo de las sedimentitas glacigénicas neoproterozoicas asociadas a la dirección NE de la estructura Sierra Ballena.

Un área que necesita estudios de detalle es la estructura geológica (asociada a la traza de la cizalla) que por falla expone al basamento ígneo-metamórfico en la cantera de balasto de la Dirección de Vialidad (MTO) situada al Este de la ruta 8 a la altura del km

389 (Frigorífico Pul / ex – Infrinsa, Figura N° 13). La falla afecta también términos diamictíticos y pelíticos, posee un rumbo N15° y con fuerte basculamiento hacia el Oeste y el plano de falla muestra estrías subhorizontales que denotan la componente de rumbo. Esta sucesión sedimentaria basculada que podría estar vinculada a la que se expone algo más al Sur en la región de Tacuarí, está cubierta en discordancia por la Formación Tres Islas (Figura N°11).

Otros afloramientos de posición estratigráfica incierta, como fue señalado, son los de la localidad de La Pedrera sobre ruta 26, al Este de la ciudad de Melo (Basurero Municipal). En este sitio, se desarrolla una potente sucesión sedimentaria siliciclástica, basculada, con fuertes tonalidades rojizas, constituida en la base por psefitas y areniscas, a las que se interdigitan estratos de pelitas y arcillitas rojas. El tope de la sucesión está coronado por areniscas finas, bien seleccionadas, con estratificación cruzada de gran porte y alto ángulo. Todo este conjunto está afectado por fallas con componente de rumbo que localmente muestra el desarrollo de pequeñas estructuras en flor (Figura N° 14), denotando la actuación de una tectónica de rasgos compresivos. Estos depósitos son interpretados como abanicos aluviales con evidencias

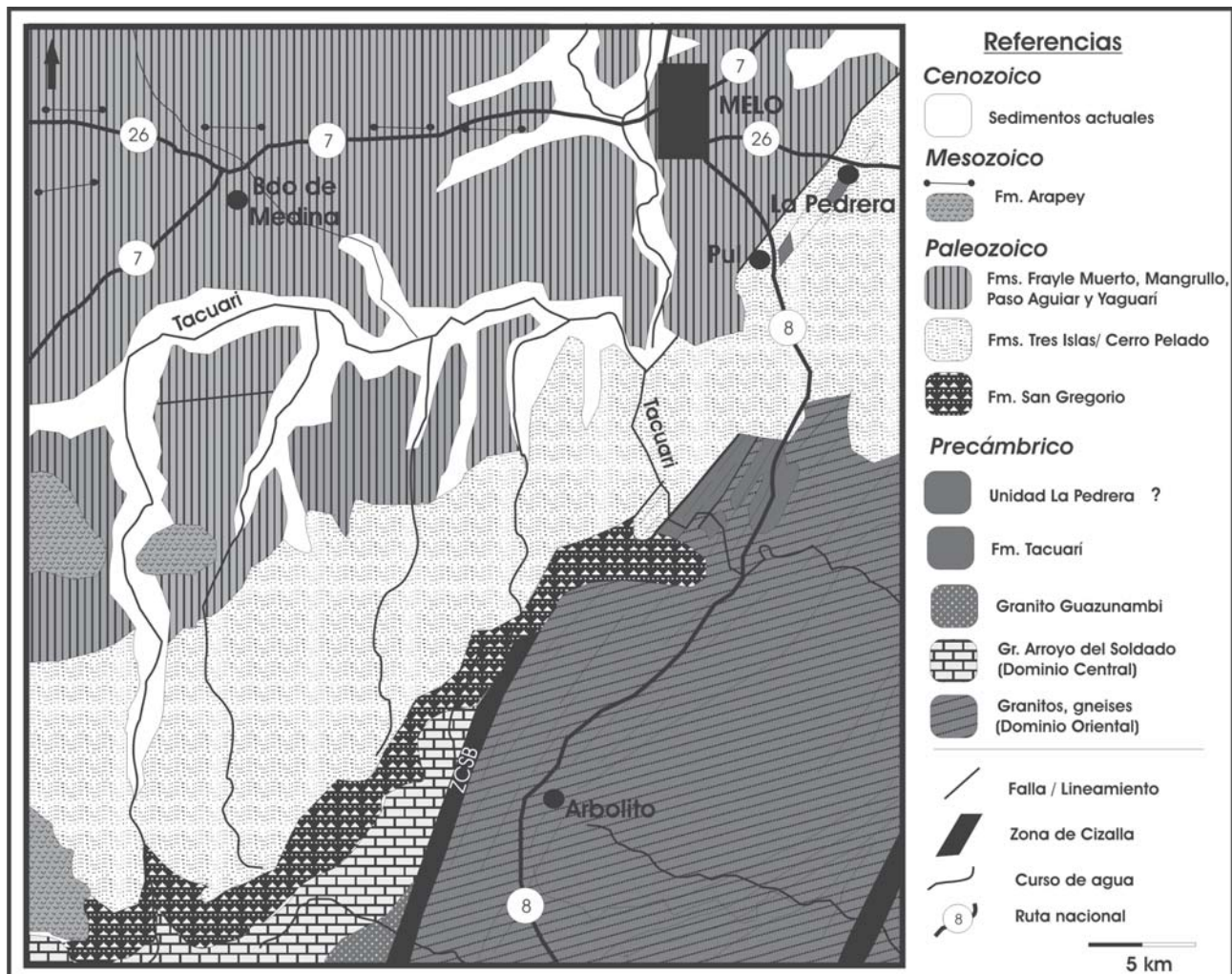


FIGURA N° 11. Mapa geológico regional (mod. de Preciozzi et al. 1985; Bossi y Ferrando 2001).
FIGURE 11. Geologic regional map (mod. from Preciozzi et al. 1985; Bossi and Ferrando 2001).

de momentos de exposición subaérea (grietas de desecación), y situaciones de lámina de agua de poca profundidad (óndulas de oscilación y corriente), cubiertos por un evento eólico. La sucesión está intruida por diques y filones capa probablemente asociados al magmatismo jurocretácico de la Formación Arapey.

Estos afloramientos fueron asignados a la Formación Tres Islas (Preciozzi et al. 1985, Ferrando y Andreis 1986) o a la Formación Buena Vista (de Santa Ana 2004, de Santa Ana et al. 2006). Su íntima relación con la traza de la megaestructura Sierra

Ballena, la deformación que presenta y la existencia de una sedimentación pre-paleozoica más al Sur asociada a esa estructura regional, permiten dudar de la asignación de los afloramientos de La Pedrera al Paleozoico Superior. En este trabajo se sugiere una edad más antigua para esos depósitos y aún la posible correlación con las unidades siliciclásticas del Proterozoico Superior – Cámbrico que integran el Grupo Guaritas (*sensu* Fragoso-César et al. 2003), parte del relleno de la Cuenca de Camaquã en Rio Grande do Sul.

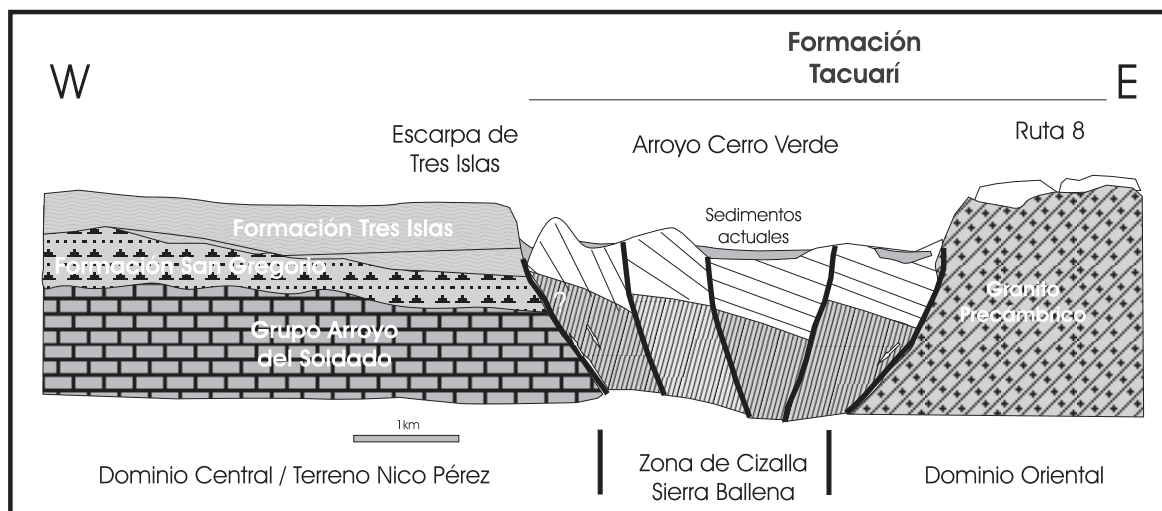


FIGURA N° 12. Perfil geológico esquemático E-W en la región de Tacuarí (ver Figura N° 6).

FIGURE 12. Geological schematic profile E-W in the Tacuarí area (see Figure N° 6).



FIGURA N° 13. Sucesión basculada de diamictitas y areniscas (60° - 70°W) que se asigna a la Formación Tacuarí asociada a las fallas NNE de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena. Ruta 8, km 389

FIGURE 13. Diamictites and sandstones succession (Tacuarí Formation) related to NNE – oriented fault (Sierra Ballena Shear Zone). Road 8, km389.

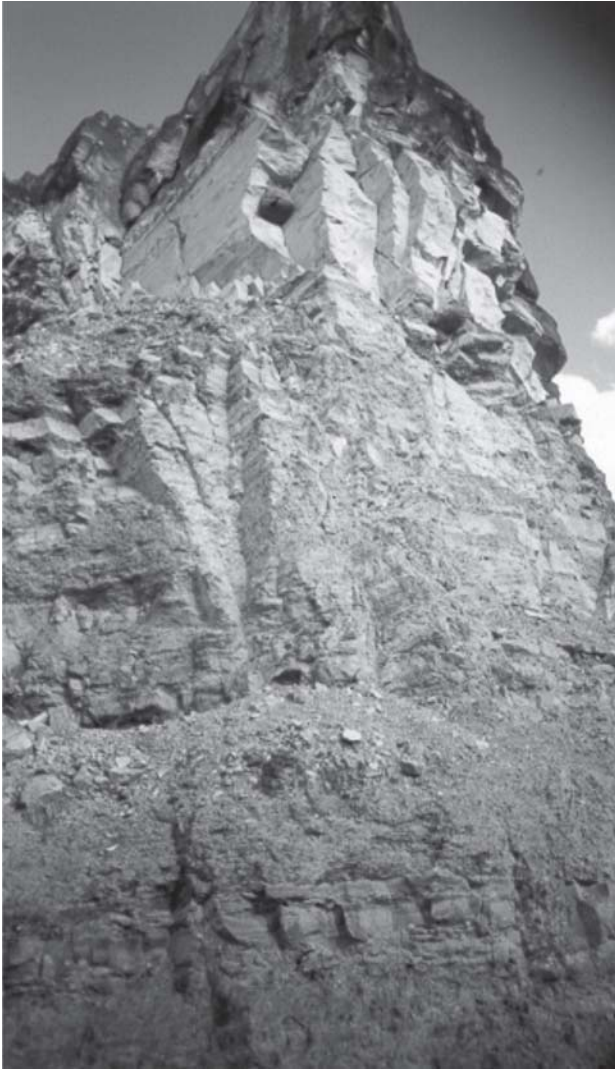


FIGURA N° 14. Fallas de rumbo, con detalle de estructuras en flor, asociadas a depósitos de abanicos aluviales en La Pedrera (Proterozoico Superior – Cámbrico ?, ver Figura N° 11).

FIGURE 14. Strike-slip fault with detail of the flower structure associated to alluvial fans deposits at the La Pedrera locality (Late Proterozoic – Cambrian?, see Figure 11).

Contexto regional y correlación geológica

La Formación Tacuarí, por su origen, edad y fósiles, puede correlacionarse con otras unidades neoproterozoicas de la región. Cabe recordar que los únicos depósitos glaciogénicos neoproterozoicos conocidos en Uruguay estaban asociados exclusivamente a la Formación Playa Hermosa (Masquelín y Sánchez 1993) la que a su vez integra la cobertura sedimentaria del Dominio Central. El carácter glaciogénico de esa unidad se debe a Pazos et al. (2003) y Fambrini et al. (2003). Por su parte, Pazos et al. (2003) relacionaron la Formación Playa Hermosa a la Glaciación Varangeriense, evento de amplia distribución mundial. Establecer una correlación entre la Formación Tacuarí y la Formación Playa Hermosa requeriría acotar los rangos de edad.

Por el momento, se puede decir que estos dos registros, distante uno de otro casi 300 km, están relacionados a situaciones de cuenca y contexto geotectónico diferentes. Loureiro et al. (2006)

mencionan la presencia de depósitos glaciogénicos en la Formación Zanja del Tigre (Neoproterozoico).

Por su contenido fosilífero, más allá de las consideraciones hechas en la introducción, la Formación Tacuarí puede correlacionarse con el Grupo Arroyo del Soldado de Gaucher et al. (1996). Los restos microscópicos orgánicos *Leiosphaeridia tenuissima*, *L. minutissima*, *Myxococcoides distola*, *M. siderophila*, *Soldadophycus bossi* y *S. major* presentes en la Formación Tacuarí se reconocieron anteriormente en varias de las unidades que integran el Grupo Arroyo del Soldado (Gaucher et al. 1996). La Formación Las Ventanas también es portadora de una asociación fosilífera (Blanco y Gaucher 2005) parcialmente similar a la presente en la Formación Tacuarí. Resulta de interés señalar que el Grupo Arroyo del Soldado es afectado por la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, límite oriental y de naturaleza tectónica propuesto para la unidad en su definición. La Formación Tacuarí es afectada por la deformación asociada a la reactivación de la estructura Sierra Ballena de acuerdo a lo aquí expuesto, por lo que es otro elemento en común a ambas unidades. La presencia de coberturas sedimentarias neoproterozoicas que guardan varias similitudes (naturaleza, fósiles y controles estructurales) a ambos lados de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, pero apoyadas sobre bloques corticales alóctonos amalgamados hacia finales del Proterozoico Superior a través de una colisión continente – continente con convergencia oblicua (vide Masquelín 2006), debe integrar y complementar el análisis en torno a los procesos geológicos de Gondwana Occidental.

CONCLUSIONES

La definición de la Formación Tacuarí por la situación geográfica, tectónica, naturaleza litológica, contenido paleontológico y edad contribuye en forma significativa al conocimiento y comprensión del marco evolutivo regional para el pasaje Proterozoico Superior – Cámbrico.

El origen glaciario de la Formación Tacuarí está dado por la caracterización e interpretación de las facies y asociaciones de facies, sumado a los fósiles hallados. Son sedimentitas marinas depositadas bajo influencia glacial donde, la asociación faciológica basal representa el desarrollo de planicies de *outwash* y la superior, fosilífera, define una situación marina más profunda donde alternaban flujos tractivos – suspensivos asociados a la propia dinámica glacial.

La Formación Tacuarí admite ser correlacionada a través de sus diferentes atributos, en forma preliminar, con unidades sedimentarias que conforman la cobertura del Escudo Uruguayo y abre la discusión con respecto a la evolución y correlación con otras unidades de Gondwana Occidental, particularmente con los registros glaciogénicos neoproterozoicos presentes en Brasil y África del Sur.

Agradecimientos

A Enrique Masquellín y Fernando Preciozzi por la lectura crítica, correcciones y sugerencias realizadas. Los árbitros Luis Spalletti y César Goso contribuyeron significativamente para mejorar el texto final. A los estudiantes del curso "Análisis Estratigráfico – 2006" por las observaciones y aportes que realizaron en el área de trabajo.

A los Drs. Andrew Knoll, Nicholas Butterfield y Mercedes di Pascua por sus comentarios críticos sobre el contenido palinológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, C.J.S. DE; FIGUEIREDO, M.F.; BABINSKI, M. & PINHO, F.E.C. (en prensa). Glacial diamictites of Serra Azul Formation (Ediacaran, Paraguay belt): evidence of the Gaskiers glacial event in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*
- ANDREIS, R.R.; FERRANDO, L. & HERBST, R. 1996. Terrenos carboníferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay. In: S. ARCHANGELSKY (Ed.). *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 309-343p.
- BLANCO G. & GAUCHER, C. 2005. Estratigrafía, paleontología y edad de la Formación Las Ventanas (Neoproterozoico, Uruguay). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 12(2): 109-124.
- BOSSI, J. 2002. Neoproterozoico – Cámbrico en Uruguay: Cinturón Don Feliciano vs. Terreno Cuchilla Dionisio. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, 9: 3-28.
- BOSSI, J. & CAMPAL, N. 1992. Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Paleozoico Inferior en Uruguay. In: J. DE GUTIÉRREZ MARCO; J. SAAVEDRA & I. RÁVANO (Eds.). *Simposio Internacional sobre el Paleozoico Inferior de Latinoamérica*, Salamanca, Universidad de Extremadura, Actas, 343-356p.
- BOSSI, J. & FERRANDO, L. 2001. *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. Versión CD-Rom, Montevideo, Geoeditores.
- DANERS, G.; VEROSLAVSKY, G. & DE SANTAANA, H. 2006. Novedoso registro de microfósiles orgánicos neoproterozoicos en sedimentitas glaciogénicas de Uruguay. In: 9° CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA, Córdoba, Resúmenes: 35pp.
- DE SANTA ANA, H. 2004. Análise tectono - estratigráfica das seqüências permotriássica e jurocetácea da Bacia Chacoparanense uruguaia ("Cuenca Norte"). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, Tese de Doutorado, 274 p.
- DE SANTA ANA, H.; GOSO, C. & VEROSLAVSKY, G. 2002. Sobre el no hallazgo de "predevoniano" en la Hoja d15 (Melo), departamento de Cerro Largo. *Revista Geológica Uruguaya* 1(2): 7-8.
- DE SANTAANA, H.; GOSO, C. & DANERS, G. 2006. Cuenca Norte: estratigrafía de las unidades Carbonífero - Pérmico. In: G. VEROSLAVSKY; M. UBILLA & S. MARTÍNEZ (Eds.). *Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales - Paleozoico*, Montevideo Dirac - Facultad de Ciencias, 147-208pp.
- EYLES, C.H.; EYLES, N. & MIAL, A.D. 1985. Models of glaciomarine sedimentation and their application to the interpretation of ancient glacial sequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 51: 15-84.
- FAMBRINI, G.L.; DE-ALMEIDA, R.P.; RICCOMINI, C. & FRAGOSO CÉSAR, A.R. 2003. Tempestitos com influência glacial da Formação Playa Hermosa (Neoproterozóico), Piriápolis, Uruguai. *Revista Brasileira de Geociências*, 33 (1): 1-12.
- FERRANDO, L. & ANDREIS, R.R. 1986. Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay. In: I CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS, Arpel, Buenos Aires, Actas V1, 295-322.
- FERRANDO, L. & ANDREIS, R.R. 1990. La glaciación gondwánica en Uruguay (extremo austral de la cuenca intracratónica de Paraná). In: IGCP PROJECT 211: LATE PALEOZOIC OF SOUTH AMERICA, ANNUAL MEETING WORKING GROUP, Buenos Aires, Abstracts, 72-77.
- FRAGOSO-CESAR A.R.S.; ALMEIDA R.P.; FAMBRINI G.L.; PELOSI A.P.M.R. & JANIKIAN L. 2003. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: SBG, ENCONTRO SOBRE ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, 1, Porto Alegre, RS. Anais, 139-144.
- GAUCHER, C.; FRIMMEL, H.E. & GERMS, G.J. 2005. Organic-walled microfossils and biostratigraphy of the upper Porth Nolloth Group (Namibia): implications for latest Neoproterozoic glaciations. *Geological Magazine*, 142(5): 1-21.
- GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. & SCHIPILOVA. 1996. Upper and Middle Proterozoic fossiliferous sedimentary sequences of the Nico Pérez Terrane of Uruguay: Lithostratigraphic units, paleontology, depositional environments and correlations. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 199(3): 339-367.
- GAUCHER, C.; BOGGIANI, P.C.; SPRECHMANN, P.; SIAL, A.N.; & FAIRCHILD, T. 2003. Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and Brazil): paleogeographic, paleoclimatic and paleobiologic implications. *Precambrian Research*, 120: 241-278.
- GOSO, C. 1995. Análise estratigráfica da Formação São Gregório na borda leste da Bacia Norte uruguaia. Instituto de Geociências e Ciências

- Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 214 p.
- GOSO, C. & GAMA JR., E. 1998. Faciología de la Formación San Gregorio (Pérmico Inferior) en el borde sureste de la cuenca Norte Uruguaya. In: *II CONGRESO URUGUAYO GEOLOGÍA*, Punta del Este, Actas, 49-54.
- HAMBREY, M.J. & HARLAND, W.B. 1985. The Late Proterozoic Glacial Era. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 51: 255-272.
- HEDBERG, H.D. 1980. *Guía estratigráfica internacional*. Madrid, Ed. Reverté, 205p.
- HOFFMAN, P.F.; KAUMAN, A.J.; HALVERSON, G.P. & SCHRAG, D.P. 1998. A Neoproterozoic snowball earth. *Science*, 281: 1342-1346.
- KENNEDY, M.J.; RUNNEGAR, B.; PRAVE, A.R.; HOFFMAN, P.F. & ARTHUR, M.A. 1998. Two or four Neoproterozoic glaciations?. *Geology*, 26: 1059-1063.
- LOUREIRO, J.; SANCHEZ, L.; PAZOS, P.; SANCHEZ, G. & STARECZEK, S. 2006. Evidence of glacially-influenced deposits in the Neoproterozoic (Zanja del Tigre Formation) of Uruguay. In: *V SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, Punta del Este, Short Paper, 262p.
- MASQUELÍN, H. 2006. El Escudo Uruguayo. In: G. VEROSLAVSKY; M. UBILLA & S. MARTÍNEZ (Eds.). *Cuenas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales - Paleozoico*, Montevideo Dirac - Facultad de Ciencias, 37-106p.
- MASQUELÍN, H. & SÁNCHEZ, L. 1993. Propuesta de evolución tectono-sedimentaria para la Cuenca de Piriápolis, Uruguay. *Revista Brasileira de Geociências*, 23 (3): 313-322.
- OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; FREI, R.; WEMMER, K. & LAYER, P. 2006. Timing of the Sierra Ballena Transcurrent Shear Zone in the southern extreme of the Dom Feliciano Belt (Uruguay). In: *V SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, Punta del Este, Actas, 150.
- PAZOS, P.J.; SÁNCHEZ, L. & TOFALO, O.R. 2003. The record of the Varanger Glaciation at the Rio de la Plata Craton, Vendian - Cambrian of Uruguay. *Gondwana Research*, 6 (1): 65-77.
- PRECIOZZI, F.; SPOTURNO, J.; HEINZEN, W. & ROSSI, P. 1985. *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a la escala 1:500.000*, Montevideo, DINAMIGE, 90 p.
- SALVADOR, A. 1994. *International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. (2° ed.) Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences & Geological Society of America (eds.), 214 p.
- TEIXEIRA, A.L.; GAUCHER, C.; PAIM, P.L.; DA FONSECA, M.M.; PARENTE, C.V.P.; DA SILVA FILHO, W.F. & DE ALMEIDA, A.R. 2004. Bacias do estágio da transição da plataforma Sul-americana. In: V. DE MANTESSO-NETO; A. BARTORELLI, C.D.; RÉ CARNEIRO & B.B DE BRITO NEVES (Orgs). *Geologia do Continente Sudamericano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Beca, Cap. XXIX: 487-538.
- ULEHIN, A.; ALVARENGA, C.J.; DUPONT, H.S.J.B.; EGYDIO-SILVA, M.; CUKROV, N. & DE LIMA, O.N.B. 2004. Glaciação Neoproterozóica sobre o Cráton do São Francisco e faixas dobradas adjacentes. In: V. DE MANTESSO-NETO; A. BARTORELLI, C.D.; RÉ CARNEIRO & B.B DE BRITO NEVES (Orgs). *Geologia do Continente Sudamericano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Beca, Cap. XXX: 539- 553.
- WALTHER, K. 1924. Los resultados de las perforaciones practicadas en el departamento de Cerro Largo en busca de carbón de piedra. *Boletín Instituto de Geología y Perforaciones*, Nº 6: 1-20.

Recibido: 8 de Julio de 2006

Aceptado: 9 de Marzo de 2007