

CUENCA NORTE: ESTRATIGRAFÍA DEL CARBONÍFERO–PÉRMICO

Héctor de Santa Ana, César Goso y Gloria Daners

EN NUESTRO TERRITORIO, LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEPOSITADAS durante el Carbonífero–Pérmico formaron parte de un extenso ámbito de sedimentación (Fig. 1), de más de 1.400.000 km², que por estas latitudes se lo conoce con el nombre de Cuenca Norte.

En Uruguay, la cuenca ocupa la región centro–Norte (Fig. 2) y sus actuales límites son erosivos y/o estructurales. Abarca una superficie aproximada de 90.000 km² y comprende a los departamentos de Artigas, Salto, Tacuarembó, Rivera y Paysandú y parcialmente a los de Cerro Largo, Durazno y Río Negro. Se han reconocido relictos neopaleozoicos de esta cuenca en el subsuelo de la plataforma continental uruguaya (Daners *et al.* 2003).

Los registros sedimentarios de la cuenca revelan una sedimentación de tipo intracratónica y de naturaleza policíclica, lográndose reconocer algunos eventos y/o ciclos que también están presentes en otras cuencas gondwánicas (*vide* Capítulo I).

La evolución de las rocas sedimentarias permocarboníferas en la cuenca evidencian una evidente y paulatina continentalización del amplio mar abierto hacia el Oeste y que tenía como nivel de base al océano Panthalassa (*vide* Fulfaro *et al.* 1982). Ese amplio mar progresivamente se transformará en un mar interior a medida que los orógenos paleozoicos que se procesaron en la margen occidental de Gondwana se desarrollen y terminen por interrumpir la conexión oceánica (Milani & Ramos 1998, Milani 2004).

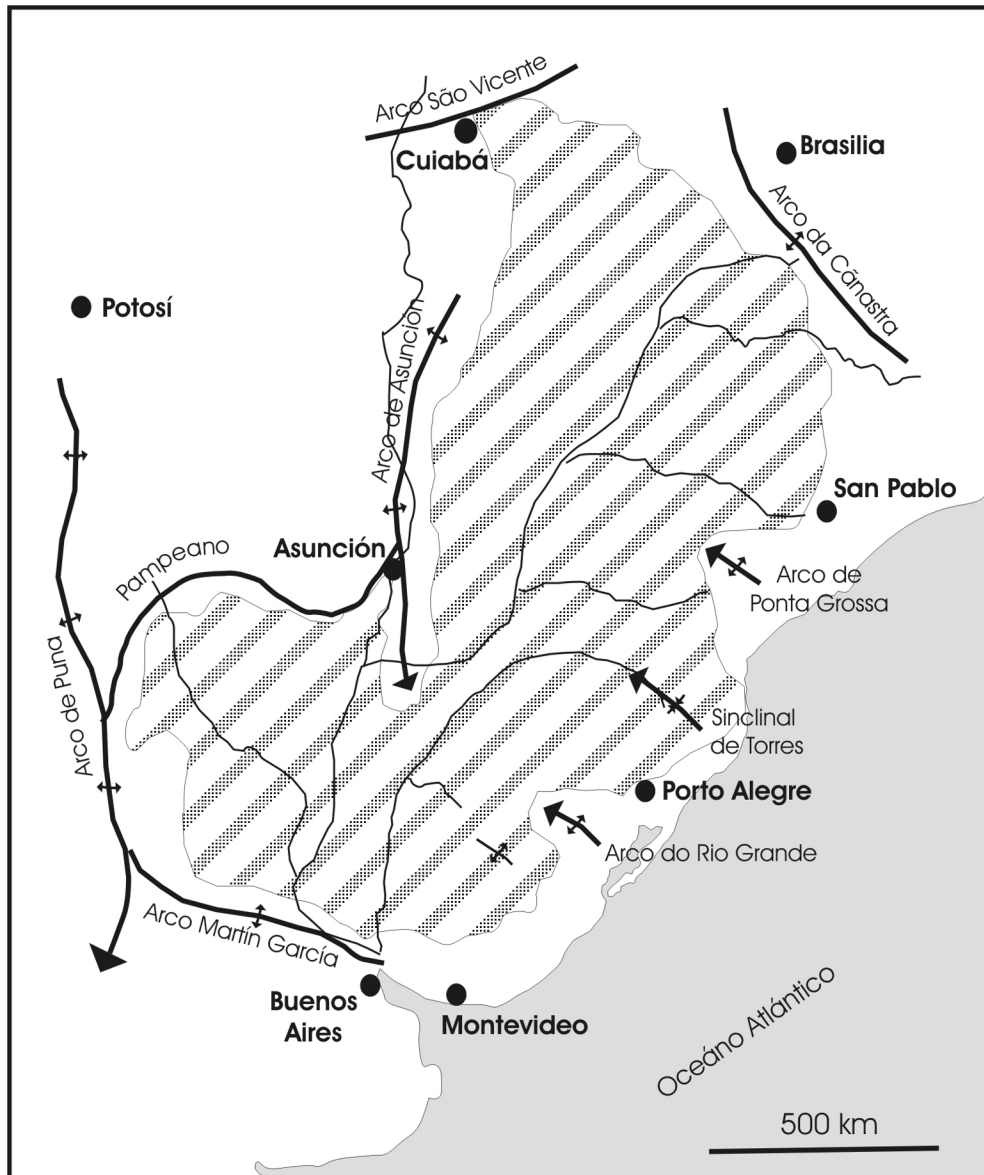


Figura 1 – La Cuenca Paraná y sus principales elementos estructurales.
(Modificado de Petri & Fulfaro 1988).

En ese contexto, la evolución tectónica y sedimentaria de la Cuenca Norte está relacionada a distintas situaciones paleogeográficas y contextos geológicos que se sucedieron desde el Carbonífero hasta finales del Pérmico. Sus primeros registros están íntimamente ligados a la glaciación gondwánica mientras que los últimos, de naturaleza continental, a la instalación de un

borde activo situado en el margen sudoccidental del continente Gondwana (*vide* Capítulo I). En este capítulo, se hace referencia a los aspectos estratigráficos de las unidades que componen el registro rocoso acumulado durante el Carbonífero–Pérmico.

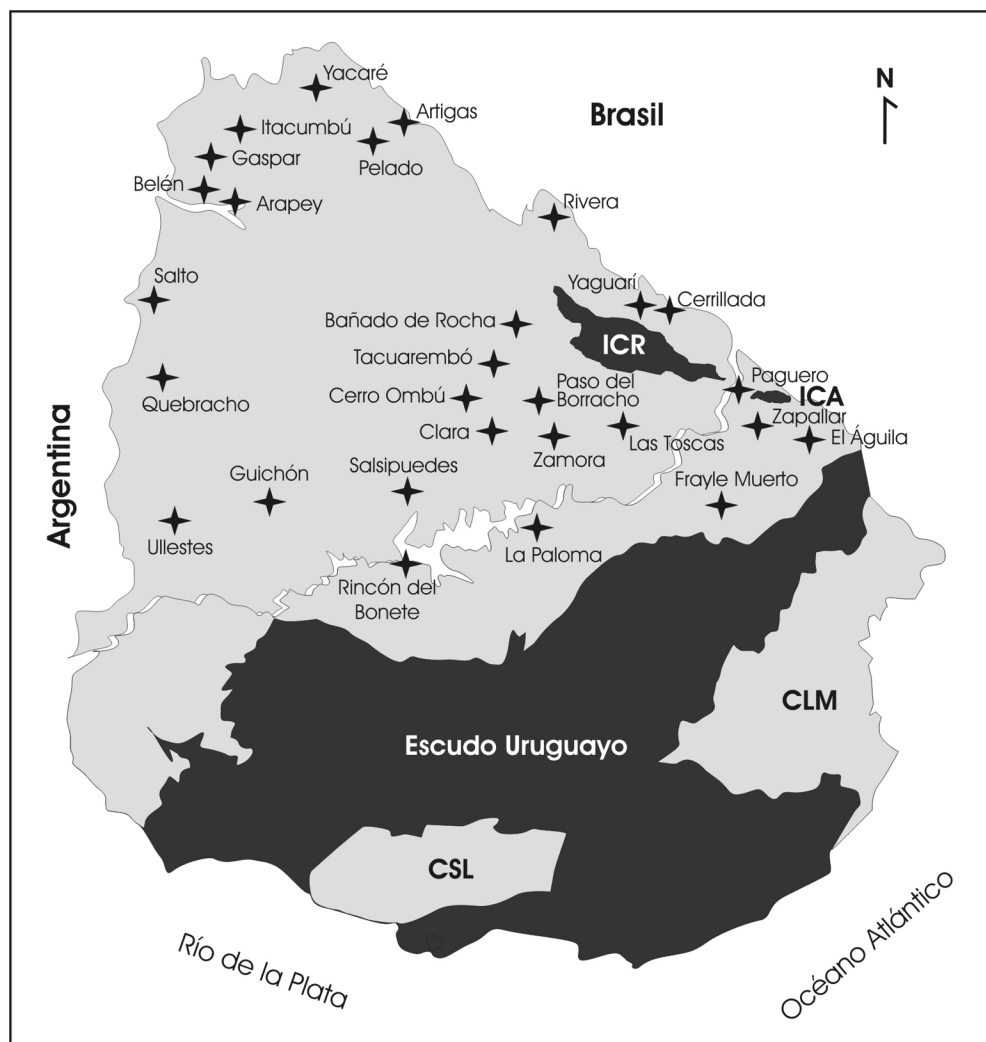


Figura 2 – *Mapa de localización de la Cuenca Norte.*
Se señalan los principales pozos: ICR = Isla Cristalina de Rivera, ICA = Isla Cristalina de Acegú, CLM = Cuenca Laguna Merín, CSL = Cuenca Santa Lucía.

Las formaciones que integran la megasecuencia permocarbonífera del denominado Grupo Cerro Largo (Goso 1995, Goso *et al.* 1996) son: San Gregorio, Cerro Pelado, Tres Islas, Frayle Muerto, Mangrullo, Paso Aguiar,

Yaguarí y Buena Vista. Los criterios para la definición y descripción de las unidades consideraron, de una forma general, las propuestas litoestratigráficas formuladas por Bossi (1966), de Santa Ana (1989), de Santa Ana & Ucha (1994) y Andreis *et al.* (1996b).

El cuadro estratigráfico propuesto en la Figura 3 se basa en de Santa Ana (2004) y resulta de la integración de la información de superficie y subsuelo de los pozos profundos de las sucesivas campañas exploratorias de hidrocarburos. A ella se le suma una importante base de datos e información de naturaleza sedimentológica, estratigráfica, petrográfica, paleontológica, geofísica y geocronológica. En la Figura 4 se ilustran las principales localidades referidas en el capítulo.

GRUPO	FORMACIÓN	MIEMBRO	EDAD
CERRO LARGO	Buena Vista	Cerro Conventos Colonia Orozco	Pérmico Tardío
	Yaguarí	Superior Inferior	Pérmico Medio
	Paso Aguiar		Pérmico Temprano
	Mangrullo		
	Frayle Muerto		
	Tres Islas	Superior (Cerro La Valeriana) Inferior	
	Cerro Pelado		
	San Gregorio		Carbonífero Tardío– Pérmico Temprano bajo?

Figura 3 – Columna litoestratigráfica del Permo–Carbonífero de la Cuenca Norte.¹

1. No se ha incluido en el cuadro estratigráfico la unidad Haz de Corral de Piedra definida por Bossi *et al.* (1990). Se trata de un importante hallazgo en la región homónima del departamento de Cerro



Figura 4 – Mapa de ubicación de las principales localidades referidas en el texto.

Un aspecto que merece una mención particular por la dimensión que adquiere para la comprensión de la evolución geológica de la cuenca, es la asignación temporal de sus unidades sedimentarias. Hasta la actualidad, la mayor parte de ese conocimiento se basó en estudios biocronológicos de su sección paleozoica y en los *data* establecidos por las rocas ígneas en la cuenca.

Vale recordar que, con relación a la bioestratigrafía, el marco palinoestratigráfico propuesto por Daemon & Quadros (1970) resultó una referencia para la Cuenca Paraná y áreas gondwánicas vecinas, aunque luego sufrió sucesivas modificaciones. Este aporte, si bien significó un avance sustancial para la comprensión de la estratigrafía, correlación y paleontología de las sucesiones permocarboníferas de la Cuenca Paraná, siempre estuvo

Largo. Esta unidad está constituida por filones básicos verticales (microgabros), con rumbo general NNE y de forma contorneada. Su desarrollo abarca un área de poco más de 30 km² y tiene por caja las litologías del cinturón Cuchilla Dionisio. La datación radimétrica de estos cuerpos resultó en 265 ±33 Ma (comunicación personal del investigador brasileño Koji Kawashita en 1989 *in* Bossi & Ferrando 2001).

acompañado de numerosas controversias entre las edades derivadas de la zonación palinológica y los otros grupos fósiles presentes en la cuenca (*vide* Capítulo VII).

Recientemente, con la identificación de niveles con cenizas en las distintas unidades que componen la columna de la cuenca en territorio brasileño y uruguayo, se ha comenzado un proceso de ajuste cronoestratigráfico de las secuencias permocarboníferas con resultados contrastantes.

Basei *et al.* (2004) comunicaron edades radimétricas para diferentes unidades de la Cuenca Paraná que, consistentes con el apilamiento estratigráfico, resultaron aproximadamente 30 Ma más antiguas que las edades paleontológicas (palinológicas) generalmente atribuibles a las formaciones dadas.²

Los datos geocronológicos, a medida que se vayan incrementando, permitirán acotar la incertidumbre temporal de la depositación y tiempos de sedimentación que pesan sobre algunos tramos del registro y, de esta forma, se avanzará en muchos aspectos que, hasta el momento, eran de difícil explicación en la evolución de la cuenca. En particular, para los geólogos siempre resultó controversial explicar las importantes velocidades de sedimentación y razones de subsidencia necesarias para los tiempos de depositación de algunas unidades sedimentarias en el interior del área cratónica de la Cuenca Paraná (*vide* Milani 2004).

FORMACIÓN SAN GREGORIO

La Formación San Gregorio reúne a un conjunto de rocas sedimentarias cuyo atributo litológico distintivo es la variabilidad faciológica representada por diamictitas, tillitas, areniscas, pelitas y ritmitas.

Esta unidad está asociada a condiciones depositacionales glaciogénicas y cuyos términos se localizan en el borde Sur de la Cuenca Norte. Se le asigna una edad Carbonífero Tardío–Pérmico Temprano bajo?.

2. En la Universidad de Canberra (Australia) se dataron circones de la sucesión de niveles centimétricos de cenizas volcánicas intercaladas en la Formación Mangrullo resultando en 269,8 ±4,7 Ma y 279 ±6,4 Ma (Cañada del Barón, departamento de Cerro Largo) y de los bancos métricos de cenizas asociados al tercio superior de la Formación Yaguari resultando en 277 ±8,1 Ma (Bañado de Medina, departamento de Cerro Largo). Estos datos fueron comunicados por Antonio de Rocha Campos (Universidade de São Paulo) en el 2005.

Antecedentes

La Formación San Gregorio fue reconocida originalmente por White (1908) y definida como “Conglomerados de Orleans” por Guillemain (1911). Posteriormente, Marstrander (1915), Llambías de Olivar (1918), Walther (1919, 1924), Terra Arocena (1926), Du Toit (1927) y Falconer (1931, 1937), se refieren a estos depósitos con la terminología estratigráfica de las regiones de Brasil, tal como “Estratos de Tubarão”, “Estratos y Capas de Itararé” o “Serie Itararé”.

La primera cita con referencia geográfica a nuestro país (“Conglomerado de San Gregorio”) fue introducida por Caorsi & Goñi (1958) en referencia a la localidad de San Gregorio de Polanco ubicada sobre la margen derecha del Río Negro. Bossi (1966) y Bossi *et al.* (1975) señalaron dificultades para la separación y mapeo de las areniscas de la Formación San Gregorio y la suprayacente Formación Tres Islas, por lo que propusieron su agrupamiento en lo que definieron como “Formación San Gregorio–Tres Islas”. Preciozzi *et al.* (1985) cartografiaron por separado a la Formación San Gregorio de la Formación Tres Islas.

Goso & de Santa Ana (1986), a partir de datos de superficie y subsuelo, identificaron para la Formación San Gregorio dos ciclos depositacionales: uno inferior, geográficamente restringido al valle del Río Negro y áreas adyacentes (predominando diamictitas, conglomerados, areniscas y, secundariamente, pelitas, ritmitas grises, rojos y amarillos); y un ciclo superior, de gran extensión areal con expresivo desarrollo hacia el Noroeste de la cuenca (predominando pelitas, subordinadamente diamictitas finas y areniscas finas). De Santa Ana (1989) separó esos dos grandes conjuntos en lo que denominó “facies proximales” y “facies distales”. Andreis *et al.* (1993), bajo un enfoque estratigráfico similar, advirtieron la posibilidad de separar dentro de la Formación San Gregorio a las “secuencias glaciales” (o subglaciales) de las “secuencias glaciomarinadas”.

De Santa Ana (2004) propuso la división de la Formación San Gregorio en el sentido de Goso (1995), en dos formaciones: San Gregorio y Cerro Pelado. La propuesta retuvo el nombre consagrado para la unidad basal, ya que se ajusta a las características litológicas distintivas por las cuales se había discriminado y definido originalmente a esta unidad en el área tipo. Asimismo, ajustó su distribución, límites y linderos estratigráficos para esta nueva definición.

Nombre y área tipo

La sección tipo se ubica en la margen izquierda del Río Negro, en el departamento de Durazno, a lo largo de una extensa faja de afloramientos que se desarrollan en las barrancas frente a la ciudad de San Gregorio de Polanco (departamento de Tacuarembó). Esta región debe ser considerada como el holoestratotipo de la unidad donde pueden observarse la mayoría de las litologías que reúne la Formación San Gregorio (Lámina I: A).

Otras secciones aflorantes se exponen en las márgenes del Río Negro, desde el puente del km 329 de la Ruta 6, hasta Paso del Gordo. Se suman a las anteriores las secciones expuestas en el Cerro Guazunambí, al Sur del departamento de Cerro Largo (*vide* Goso, 1995); en la Ruta 7 a 3 km al Sur de la localidad de Cerro de las Cuentas (Estancia Las Moras); en la Ruta 8 entre los km 377 y 378, donde Ferrando & Andreis (1986) definieron el paraestratotipo de la unidad y donde aflora una importante sucesión de ritmitas con *dropstones*, diamictitas y areniscas conglomerádicas. Además, en la localidad de Paso del Puerto en la margen izquierda del Río Negro, junto al cruce de la Ruta 3 (departamento de Flores) se desarrollan términos sedimentarios con fuerte connotación glaciogénica.

Litologías

La Formación San Gregorio posee una gran heterogeneidad litológica. Predominan las diamictitas, areniscas desde muy finas a gruesas, conglomerados y ritmitas, con arreglos que en general, son granodecrecientes, donde en conjunto predominan las tonalidades vivas como rojo, púrpura, marrón amarillento, ocre y secundariamente gris. Ocasionalmente, aparecen niques neptúnicos asociados a los términos más basales de la formación. Las diamictitas son tanto masivas como estratificadas, con textura matriz–sostén de arena muy fina, limo y arcilla, con geometrías que evidencian flujos muy cohesivos. Los conglomerados aparecen asociados a los niveles arenosos gruesos y son masivos y gradados, bien cementados, violetas y amarillentos.

Las areniscas en general son de tonalidades claras. Las masivas son finas, cuarzo–feldespáticas y presentan estructuras en “llama” o de escapes de fluidos; y las estratificadas son cuarzosas y cuarzo–feldespáticas y algo micáceas, bien cementadas, desde muy finas a medias exponiendo laminación gradada, horizontal, ondulante y cruzada tipo *ripple-drift*. Los finos están representados por ritmitas de una fina laminación horizontal, constituidos por arena fina a muy fina, limos y arcillas que muestran espesores variables entre 2 y 15

mm. Son muy frecuentes las alternancias de colores grises claros y oscuros, las microconvoluciones, pequeñas fracturaciones y las bioturbaciones; como así también *dropstones* que pueden alcanzar diámetros del orden métrico.

Los datos litológicos y geofísicos provenientes de las diagrfias de los pozos Salsipuedes, Guichón y Ulleste (Fig. 2) muestran las secciones de subsuelo más completas de la unidad, donde se reconocen la superposición de varios ciclos de tendencia granodecreciente, integrados por espesas secciones de diamictitas arenosas y areniscas conglomerádicas, areniscas gruesas a muy finas, pelitas y arcillitas rojizas calcáreas en el tope de los ciclos.

Distribución y potencia

La distribución de la Formación San Gregorio se restringe al borde Sur de la Cuenca donde evidencia un fuerte control de dirección E–W; hacia el Este los controles depositacionales indican direcciones predominantemente NW–SE. Los límites depositacionales de esta unidad hacia el Sur están definidos por el Alto que conforman los bloques de Piedra Alta y Nico Pérez (*vide* Capítulo II); el borde Norte de esta fosa o paleovalle del Río Negro está definido por un Alto que se proyecta con dirección E–W, desde las ciudades de Colón (Argentina) y Paysandú, hasta la localidad de Tacuarembó donde se localiza el pozo homónimo. En el Nordeste y Este el desarrollo de la Formación San Gregorio está en la Isla Cristalina de Rivera y Aceguá (Fig. 2), donde casi no se preservaron registros de la unidad.

El mapa de isópacas de la Formación San Gregorio (Fig. 5) muestra que la potencia máxima es de 330 m en el pozo Salsipuedes. En subsuelo, esta unidad se reconoce en los pozos: Guichón (290 m), Ulleste (255 m), Paso Borracho (33 m), Cuchilla Zamora (142 m), Tacuarembó (20 m) y Las Toscas (9 m), estando ausente o con muy delgados espesores en el resto de los pozos de la Cuenca.

Relaciones de contacto

Las relaciones estratigráficas de la Formación San Gregorio son de contactos basales de naturaleza discordante con el sustrato erosionado de la secuencia devónica y/o el Escudo Uruguayo. Esto se observa a lo largo de varias secciones aflorantes en los departamentos de Cerro Largo, Durazno y Río Negro. Un ejemplo a destacar, a pocos kilómetros al Sur del Cerro de las Cuentas (Ruta 7), son los depósitos diamictíticos gruesos y relictuales tillitas basales que muestran la superficie pulida y estriada (Lámina I: B). Por otra

parte, contactos discordantes de la Formación San Gregorio con las rocas sedimentarias devónicas se exponen en los alrededores de las localidades de Arévalo, la Estancia del Estado (en Blanquillo) y en los alrededores de Paso del Gordo y La Paloma (departamento de Durazno).

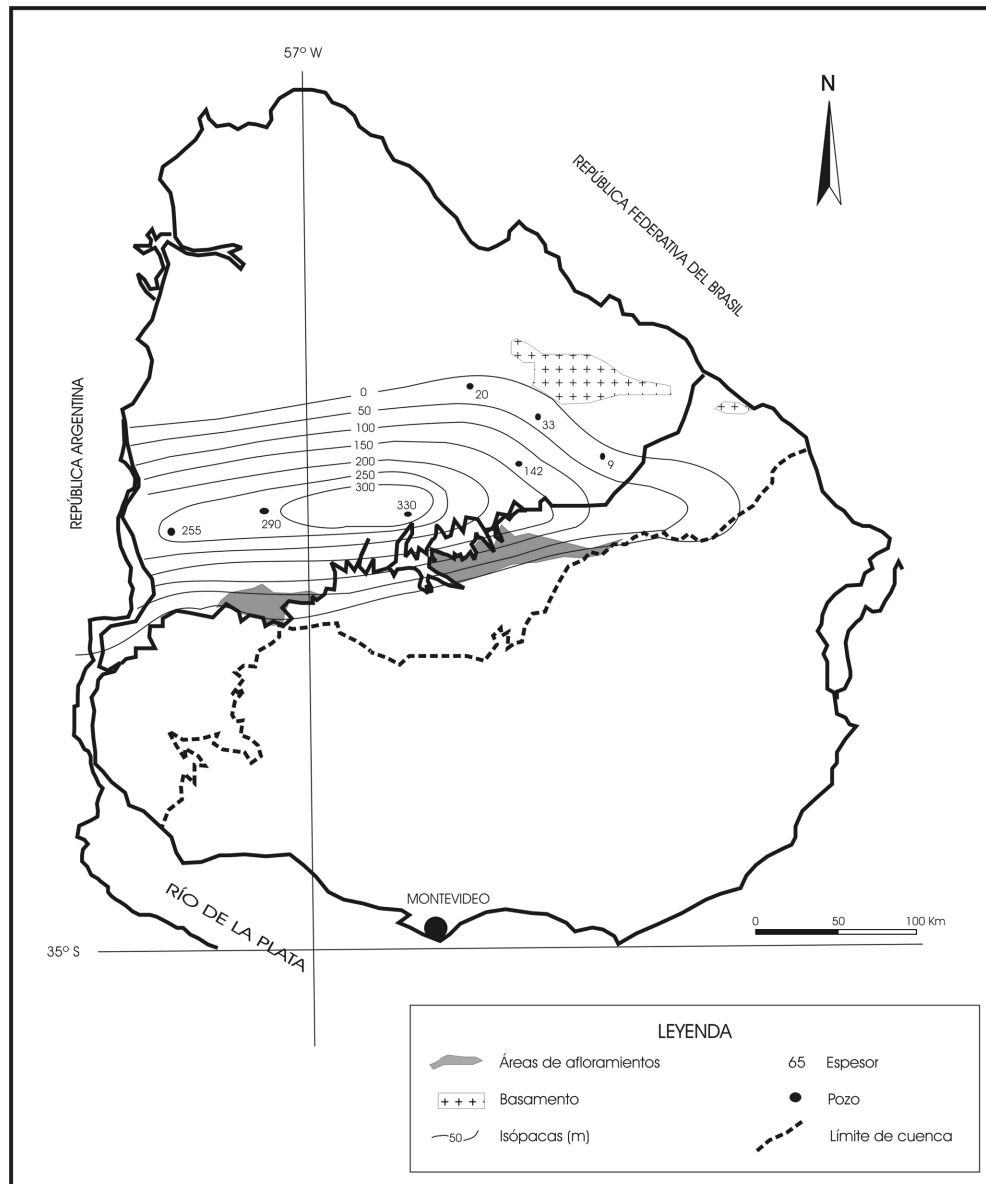


Figura 5 – Mapa de isópachas de la Formación San Gregorio.
(Fuente: de Santa Ana 2004)

En relación con el contacto superior de la unidad, los datos de subsuelo de los pozos Tacuarembó, Cuchilla de Zamora, Las Toscas y la perforación minera N° 4 en el área de Guazunambí (*vide* Goso 1995), muestran relaciones concordantes con las lutitas y pelitas (a veces algo carbonosas) de origen marino a prodeltaico de la suprayacente Formación Cerro Pelado. Con esta unidad también muestra relaciones laterales transicionales en el sector centro y Sur de la cuenca.

En extensos sectores de la cuenca, la Formación San Gregorio muestra relaciones discordantes con las unidades suprayacentes: con la Formación Frayle Muerto (*e.g.* pozo Clara, departamento de Tacuarembó), con la Formación Buena Vista (*e.g.* pozos Salsipuedes, Guichón y Ulleste), y con los basaltos de la Formación Arapey (*e.g.* pozo Rincón del Bonete).

En los afloramientos que se ubican al Sur de la cuenca, se observan contactos discordantes de la Formación San Gregorio con la Formación Buena Vista (región de San Jorge, departamento de Durazno) así como en los alrededores de la localidad de San Gregorio de Polanco.

Paleontología y edad

Según el alcance dado aquí a la Formación San Gregorio, esta unidad posee gran cantidad de macro y microfósiles de variada afinidad biológica. Martínez Macchiavello (1963), en lo que representa el primer estudio palinológico y micropaleontológico de nuestro país, describe varios tipos de esporas y granos de polen provenientes de un pozo realizado en el Departamento de Tacuarembó.

En la Formación San Gregorio se destacan, por su excepcional preservación, restos de peces (Beltan 1977, 1981, 1988) y cefalópodos (Closs 1967a, 1967b, 1969) en concreciones fosfáticas y carbonáticas que se encuentran en los términos basales de la unidad. La mayoría de estas concreciones provienen de la región de Paso de las Bochas, San Gregorio de Polanco y la desembocadura del Río Tacuarembó en el Río Negro.

No menos excepcional es la preservación tridimensional de gran cantidad de palinomorfos en la matriz de esas concreciones (Marques-Toigo 1970, 1973a, 1974; Ybert & Marques Toigo 1970; Daners & de Santa Ana 2003), que incluyen esporas, granos de polen y elementos asociados a ambientes acuáticos como acritarcas y algas. También en estas concreciones se ha encontrado poríferos (Kling & Reif 1969), radiolarios (Braun *et al.*

2003)³, braquiópodos e icnofósiles (Balistieri *et al.* 2001, Sprechmann *et al.* 2001) y maderas de gimnospermas que no han sido estudiadas.

La edad de la unidad ha dado lugar a una larga controversia ya que los radiolarios, peces y cefalópodos presentes en las concreciones indicarían una edad Carbonífero Tardío (Beltan 1977, 1981; Closs 1967a, 1967b, 1969; Braun *et al.* 2003), mientras que el contenido palinológico proveniente de la matriz de las concreciones (Marques-Toigo 1973a,b) y de litologías de la base de la Formación San Gregorio (*e.g.* Cerro de las Cuentas y Paso de las Bochas) marcarían una edad Pérmico Temprano bajo (Daners & de Santa Ana 2003, Daners *et al.* 2004).

A pesar de que los macrofósiles y radiolarios presentes en la unidad indican en general una edad Carbonífero Tardío, y en función de la discusión actual de especialistas para ajustar la asignación temporal de los pisos de las propuestas palinoestratigráficas más utilizadas (Daemon & Quadros 1970, Marques Toigo 1988 y Souza & Marques-Toigo 2001), se adopta aquí una edad Carbonífero Tardío–Pérmico Temprano bajo para esta formación (*vide* Capítulo VI).

FORMACIÓN CERRO PELADO

Fue definida a efectos de separar, con un criterio operacional, a un conjunto de litologías de naturaleza esencialmente pelítica y pelítica–arenosa, de tonalidades grises, negras y castañas, con porcentajes variable de materia orgánica y que poseen una importante extensión areal en la Cuenca Norte (de Santa Ana 2004).

Antecedentes

El contenido litológico y distribución de la Formación Cerro Pelado fue originalmente establecido dentro de las “facies distales” por de Santa Ana (1989), criterio similar al que luego siguieron Andreis *et al.* (1993) al separar dentro de la Formación San Gregorio (*sensu* Goso 1995) las “secuencias glaciomarinas” de las “secuencias glaciales”.

3. En las barrancas sobre la margen izquierda del Río Negro, casi frente a la localidad de San Gregorio, se constató que las “bochas fosilíferas” se encuentran *in situ* en pelitas asociables a ambiente glaciomarino. Esto confirma lo propuesto por Braun *et al.* (2003) con relación a las consideraciones y connotaciones estratigráficas en cuanto a la edad Carbonífera de esa sección de la unidad dada por los radiolarios.

Se trata de una sucesión sedimentaria de naturaleza esencialmente fina (lutitas, pelitas, diamictitas y areniscas finas) que representa un evento transgresivo que cubrió a las rocas sedimentarias de la Formación San Gregorio. Estas litologías también se apoyan sobre el propio Escudo Uruguayo, particularmente en la región Sudeste de la cuenca.

De Santa Ana *et al.* (1993), en el subsuelo de la región de la Cuchilla de Guazunambí (Cerro Largo Sur), definieron las facies y asociaciones de facies apiladas verticalmente para lo que corresponde aquí a esta unidad, su contenido palinológico y establecieron los mecanismos de transporte actuales acompañados de consideraciones paleoambientales y paleogeográficas.

Nombre y área tipo

Su nombre deriva del accidente geográfico situado sobre la Ruta 26, a 8 km al Este de la ciudad de Melo donde la Formación Cerro Pelado alcanza unos 15 m de potencia (Lámina 1 C). Es en esta área donde muestra sus relaciones estratigráficas con las unidades supra e infrayacentes (formaciones San Gregorio y Tres Islas, respectivamente).

Al Sur de Melo, asociado a un sistema de fallas transcurrentes (Ruta 8 – Frigorífico PUL, ex Infrinsa), la Formación Cerro Pelado muestra relaciones de contacto discordantes con el basamento, localmente erosivas con la Formación Tres Islas (suprayacente); y contacto por fallas con la Formación San Gregorio y las margas pirobituminosas y fosilíferas de la Formación Mangrullo.

Litología y unidades

La Formación Cerro Pelado está constituida por arcillitas y lutitas, diamictitas finas, pelitas y fangolitas de tonalidades grises a negras y castañas. Ocasionalmente, aparecen intercalados delgados niveles de areniscas y diamictitas finas. Puede ser caracterizada en tres unidades que informalmente se denominan: inferior, media y superior.

La unidad inferior está constituida por arcillitas y lutitas finamente laminadas, de aspecto papiráceo, con restos carbonosos, con tenores medios de 1% de COT (Carbono Orgánico Total). La pirita es abundante y aparece en nódulos o diseminadas, el contenido palinológico es muy rico y en general, con importante aporte continental, al menos en superficie y subsuelo del sector Sudeste de la cuenca.

La unidad media reúne pelitas, fangolitas y diamictitas con matriz pelítica de tonalidades grises. En general, las diamictitas son masivas (con porcentaje variable de micas) pudiendo mostrar una gradación a pelitas arenosas micáceas y *wackes* grises, con porcentajes de materia orgánica menores a 0,4%. Se intercalan comúnmente cuerpos decimétricos a métricos de areniscas finas, blanco amarillentas y naranjas, con gradación y ripples de corriente.

La unidad superior reúne pelitas bioturbadas y ritmitas arenosas, con gradación, estratificación contorsionada, pliegues sinsedimentarios e intercalaciones de paquetes de areniscas. Ocasionalmente las ritmitas pueden presentar *dropstones* y bioturbaciones. Las areniscas son medias a finas, presentan tonalidades blanquecinas a grises claros, localmente rojizas, predominantemente cuarzosas, con granoselección normal, laminación plano-paralela y de tipo *climbing*.

La formación presenta una amplia extensión en la cuenca, constituyendo la unidad de mayor extensión areal de todas las que integran el permocarbonífero (Fig. 6). Los principales afloramientos de la unidad son reseñados por de Santa Ana (2004), destacándose los de la región de la “Azotea del Padre Alonso” y los situados al Este del Arroyo Frayle Muerto (departamento de Cerro Largo).

En subsuelo, la Formación Cerro Pelado adquiere gran desarrollo en el Noroeste, reconociéndose en los pozos: Salto (165 m), Quebracho (140 m), Yacaré (129 m), Pelado (128 m), Gaspar (85 m), Itacumbú (80 m), Belén (50 m) y Artigas (99 m). Particularmente, en esos pozos la unidad inferior (que se denomina Capa Yacaré) presenta porcentajes de materia orgánica con valores de hasta 1,5% de COT, de tipo amorfogénica (Tipo I) y de origen marino sustentado, más allá de las faciologías presentes, por la presencia de *Tasmanites* sp. (Dino 1988). La capa Yacaré está ausente en los pozos Belén, Gaspar e Itacumbú (Fig. 1) mientras que las unidades media y superior están presentes en todos los pozos profundos de la región Noroeste.

Relaciones de contacto

La Formación Cerro Pelado presenta contactos discordantes con el basamento cristalino en la región Este, Norte y Noroeste de la cuenca. Esto se observa, por ejemplo, en los pozos mineros de la región de la Cuchilla de Guazuambí y en las perforaciones profundas del sector central y Noroeste (Fig. 7). Análogas relaciones se observan con el basamento en pequeñas depresiones y fosas alargadas emplazadas en las fajas transcurrentes que afectan el basamento de la “Isla Cristalina de Rivera” (región de Amarillo–Moirones).

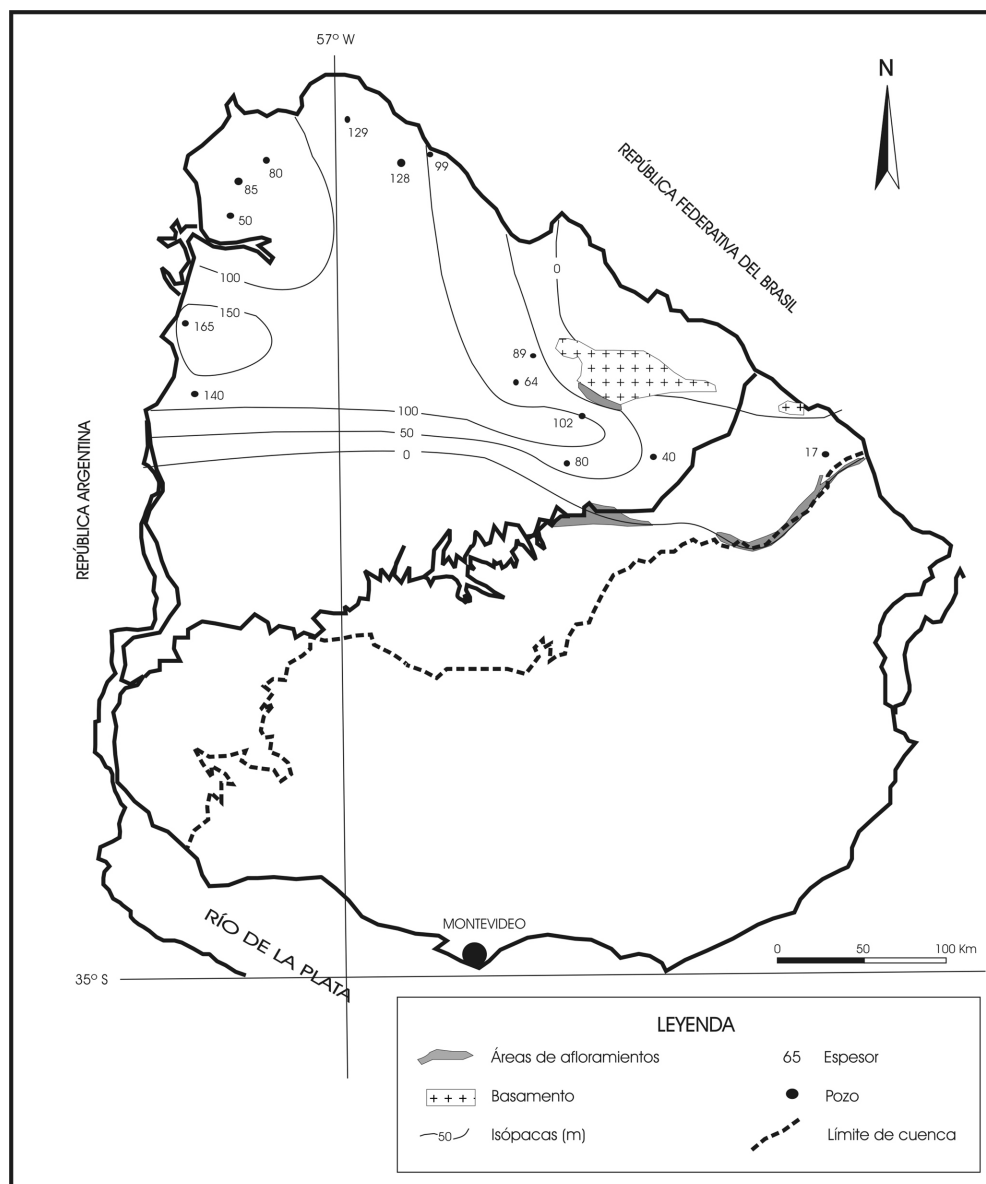


Figura 6 – Distribución e isópacas de la Formación Cerro Pelado en la Cuenca Norte.
(Fuente: de Santa Ana 2004)

La Formación Cerro Pelado guarda relaciones de contacto concordantes con la Formación San Gregorio. Las relaciones de contacto con las areniscas aluvio-fluviales de la suprayacente Formación Tres Islas son de tipo erosivos, paraconcordantes y discordantes.

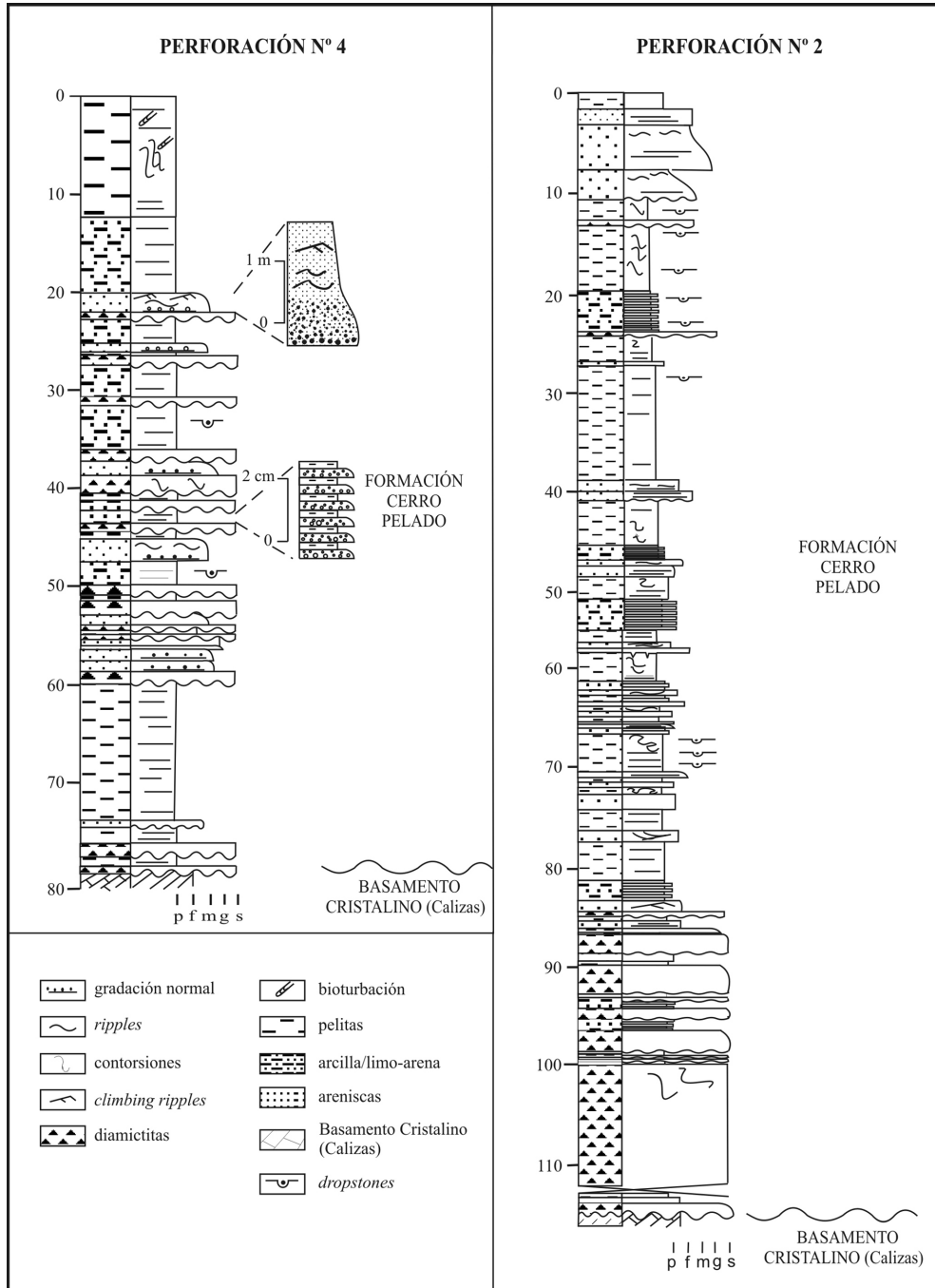


Figura 7 – Secciones de subsuelo de la Formación Cerro Pelado en la región de los Cerros Guazunambí (Distrito Cerro Largo Sur). (Fuente: Goso 1995).

Paleontología y edad

La Formación Cerro Pelado posee un rico registro de microfósiles orgánicos provenientes, particularmente, de varias perforaciones realizadas en el Distrito Cerro Largo Sur (de Santa Ana *et al.* 1993; Beri & Goso 1996; Beri & Goso 1998; Beri & Daners 1996) y que originalmente fue asignado a la Formación San Gregorio. La mayoría de los estudios palinológicos sobre la unidad corresponden a la región más proximal, del sector Sudeste de la Cuenca Norte. Los palinomorfos son abundantes, variados y están representados, fundamentalmente, por diferentes grupos de esporas trilete, granos de polen (monosacados, bisacados, estriados y plicados) y algunos elementos acuáticos como restos de algas. Asimismo, se han encontrado improntas de vegetales carbonizados en el área tipo de la unidad.

La presencia de *Tasmanites* sp. (Dino 1988) en el subsuelo de la región Noroeste de la cuenca, revela un origen marino para los términos más distales lo que está en consonancia con las facies pelíticas y lutíticas presentes en la mayoría de los pozos profundos.

En base a los fósiles hallados en los diferentes intervalos de esta formación, a las relaciones estratigráficas con las unidades supra e infrayacentes, y a la correlación con las zonaciones palinológicas definidas para las cuencas Paraná (Brasil) y Chacoparanense (Argentina), se adopta aquí una edad Pérmico Temprano bajo.

FORMACIÓN TRES ISLAS

Está constituida por una sucesión de areniscas grises a rojizas, predominantemente finas a medias, con estratificación cruzada, estratificación horizontal plano–paralela, a las que se intercalan areniscas conglomerádicas y pelitas (Preciozzi *et al.* 1985). Se asocian también ocasionales niveles de carbón y pelitas con restos carbonosos, particularmente hacia el tercio superior de la unidad. La presencia de esta unidad se ha constatado en la plataforma continental (Veroslavsky *et al.* 2003).

Antecedentes

Esta unidad fue caracterizada por Falconer (1931, 1937), reuniendo a las “Areniscas y Esquistos de Rio Bonito”, adoptando así la terminología que caracteriza una similar asociación litológica en el área tipo brasileña de la Cuenca Paraná.

Caorsi & Goñi (1958) la denominaron como “Areniscas de Tres Islas” y la consideraron como un grupo sincrónico al piso glacial de la Formación San Gregorio. Estos autores, describieron para la unidad a areniscas finas a gruesas subangulosas a redondeadas, grises hasta tonalidades amarillas y marrones. En la localidad de Tres Islas, describieron también la presencia de intercalaciones de lutitas grises y violetas, finamente bandeadas, que en conjunto con las areniscas integran la asociación típica de la formación.

Bossi (1966) propuso definir a esta unidad como Miembro de la Formación San Gregorio, señalando dificultades para establecer un criterio operativo de separación litoestratigráfica y cartográfica de los términos arenosos de la Formación San Gregorio.

Elizalde *et al.* (1970) siguiendo el criterio litoestratigráfico definido por Bossi (1966), consideraron esta asociación litológica como un Miembro de la Formación San Gregorio–Tres Islas (Segmento Acegúa – Sector XXX). Preciozzi *et al.* (1985), por su parte separaron la Formación San Gregorio de la Formación Tres Islas en la cuenca a escala 1:500.000.

Ferrando & Andreis (1986) y Ferrando & Montaña (1987), también separaron esta unidad del conjunto anteriormente integrado en el Grupo San Gregorio–Tres Islas, y aportaron nuevos datos sobre las principales características faciológicas, relaciones estratigráficas y estructurales con el resto de las unidades en la cuenca.

De Santa Ana *et al.* (1990) describieron en el Cerro La Valeriana, localizado al Nordeste de la ciudad de Melo, secciones de superficie donde reconocen en la Formación Tres Islas faciologías resultantes de flujos suspensivos de arena (turbiditas), desarrolladas en un contexto prodeltaico.

Litologías y unidades

Se subdivide la Formación Tres Islas en dos miembros: Inferior y Superior (Cerro La Valeriana).

El Miembro Inferior, se desarrolla en la base de la unidad y está constituido por areniscas medias a gruesas arcósicas a subarcósicas, de colores vivos anaranjados y amarillentos, con estratificación cruzada en artesa y tangencial de gran porte, así como también por areniscas conglomerádicas y conglomerados. Su desarrollo está comprendido en la región Sudeste de la cuenca.

La sección tipo del Miembro Inferior se ubica a unos 6 km al Este de Melo, en el paraje geológicamente conocido como “Escarpas de Tres Islas” al Este del Cerro la Tuna, entre las Rutas 8 y 26 (Lámina I: D). Otras importantes secciones se desarrollan en Rincón de Pi (ver fotos Lámina I). Este accidente morfoestructural dejó expuesto, una importante escarpa erosiva con una gran exposición de aproximadamente 20 m de altura y casi 1.000 m de extensión. En la región Sudeste de la cuenca, el Miembro Inferior presenta un franco adelgazamiento de 7 m de potencia en el pozo El Águila, un espesor relicto al Norte del lineamiento Bañado de Aceguá y omitido al Norte de la Isla Cristalina de Rivera (pozos Cerrillada y Yaguarí). No se reconoce la ocurrencia del Miembro Inferior en el sector noroccidental de la cuenca.

El Miembro Superior (Cerro La Valeriana), se desarrolla hacia el tope de la unidad, reúne areniscas finas cuarzosas a micáceas, con estratificación ondulante (megaóndulas) y estructuras de tipo *hummocky*, a las que se asocian niveles pelíticos negros, carbones y calizas arcillosas, conjunto que materializa el pasaje transicional entre el prodelta y la plataforma marina.

Su desarrollo está restringido al sector Sudeste, centro y parcialmente en el sector Noroeste donde sus límites son enteramente depositacionales. Las rocas sedimentarias son de naturaleza fluvial en la base y el borde Sudeste de la cuenca, y deltaicos y marinos en los sectores central y noroccidental. Esta unidad, esta constituida predominantemente por areniscas finas localmente gruesas, cuarzosas a micáceas blancas a grises claro con estratificación ondulante y estructuras de tipo *hummocky* a las que se asocian pelitas negras a grises con niveles carbonosos y calcáreo (Lámina I). El área tipo, se ubica en el Cerro La Valeriana, situado en la margen izquierda de la Cañada de los Burros, algo al Norte de la localidad de Mangrullo.

Nombre y área tipo

Si bien la localidad de Tres Islas fue originalmente propuesta como área tipo de esta unidad, existe un conjunto de aspectos que muestra la escasa representación de esa zona como una de las mejores exposiciones aflorantes en la cuenca. Algunos de estos aspectos son:

- a) su escaso desarrollo y extensión;
- b) no se presenta en la localidad sino en sus alrededores;
- c) la sección aflorante no es representativa de las principales asociaciones litológicas que componen la unidad (están omitidos los términos superiores);

- d) está localizada en los límites depositacionales de la Formación Tres Islas y en las proximidades donde la Formación San Gregorio presenta las litologías arenosas similares;
- e) las litologías pelíticas que se citan como integradas a la unidad en esta área corresponden a los sedimentos glaciomarininos de la Formación Cerro Pelado con los que guarda, en este sector, una relación erosiva y discordante.

La localidad de Rincón de Pi, situada al Sur de la ciudad de Frayle Muerto, debe ser considerada una sección auxiliar de referencia para la Formación Tres Islas (hipoestratotipo). Allí, se desarrollan cárcavas en donde se expone una sección casi completa de la Formación Tres Islas a lo largo de varios kilómetros de extensión y potencias superiores a 40 m. Asimismo, en Rincón de Pi pueden observarse las relaciones de contacto de esta formación con las formaciones Cerro Pelado (infrayacente) y Frayle Muerto (suprayacente).

Litologías

Esta unidad está constituida predominantemente por areniscas finas a medias, areniscas conglomerádicas, pelitas carbonosas, niveles de carbón y calcáreos. La fracción clástica es de composición subarcósica, sublítica y cuarzoza variando las proporciones en función de la situación en la cuenca. Las areniscas poseen clastos predominantemente subredondeados a subangulosos, y subordinadamente redondeados, con colores primarios dominantes que van del gris claro a blanco, y secundariamente verde claro a oliva. Algunas tonalidades rosadas y rojas pueden atribuirse a factores hereditarios y depositacionales. En general los tonos amarillentos, rojizos y pardo son secundarios y se pueden relacionar con fenómenos de alteración y presencia de óxidos e hidróxidos asociados a niveles freáticos.

Las estructuras sedimentarias predominantes son las estratificaciones cruzadas de tipo tabular planar, tabular tangencial y estratificaciones cruzadas en artesa, las que en algunos casos poseen un gran porte (“Escarpas de Tres Islas” al Sur de Melo). Secundariamente, y hacia el tope de la unidad (Miembro Cerro La Valeriana) aparecen las estratificaciones ondulantes, *hummocky*, *ripples* simétricos y asimétricos de corriente y olas hacia el tope de las barras. Las estratificaciones onduladas y planoparalelas son también comunes cuando aparecen las interdigitaciones con los niveles pelíticos y carbonosos. Las estructuras de alto régimen de flujo que se reconocen en el tope son mayoritariamente marcas de corriente tipo turboglifos y lineación “*parting*”.

Las pelitas son el segundo constituyente litológico de la unidad y están intercaladas con los niveles arenosos, alcanzando en algunos casos espesores decimétricos a métricos. Los colores varían del rojo y gris claro al gris oscuro y negro. Estas litologías presentan laminación plana paralela, masivas, en ocasiones muy bioturbadas, con restos carbonosos, en las pelitas rojas de la base de la unidad se reconoce la presencia de grietas de desecación, que denota condiciones de exposición subaérea.

Litologías calcáreas (calclutitas) se reconocen en la Formación Tres Islas en diferentes sectores de la cuenca. Aparecen como lentes menores a un metro o en estratos métricos de color gris claro en los pozos exploratorios del sector noroccidental. Por último, en algunos otros sectores (Paso del Carbón, al Sudeste de la cuenca) se reconoce la presencia de niveles lenticulares de carbón de poco espesor, que se asocian a depósitos pelíticos y arenosos.

Distribución y potencia

La Formación Tres Islas presenta una distribución irregular, tanto en el sector Este como en el sector Norte de la cuenca. El mapa de isópacas de la Formación Tres Islas muestra la distribución de la unidad en el ámbito Este de la Cuenca Norte (Fig. 8). La actual distribución de la unidad obedece a controles depositacionales y localmente erosivos, los controles depositacionales se ubican en el sector occidental de la cuenca donde se presentan fuertes acuñamientos de la unidad. Los límites erosivos y parcialmente depositacionales se localizan en el sector Este y central, donde se localizan las áreas fuentes de la cuenca. Esta unidad tendría un mayor desarrollo y otras áreas fuentes tectónicamente activas hacia el Sur del Escudo Uruguayo, donde se preservan relictos de areniscas maduras y carbonosas del Miembro Superior de la Formación Tres Islas en los bloques basculados del *prerift* de la Cuenca de Punta del Este (Ucha *et al.* 2004).

Las potencias máximas de la Formación Tres Islas son de 160 m (pozo El Águila en el departamento de Cerro Largo) y aproximadamente 180 m en la región de la Cañada de los Burros. Esta región se constituyó en un área de mayor subsidencia en la cuenca durante la acumulación de la formación, preservándose los depocentros. Constituye una estructura más o menos alargada, de dirección NNE, ligada a una paleoforma relictual. Esta situación se observa en el borde Este de la cuenca, en las proximidades de la desembocadura de la Cañada de los Burros y del Arroyo Berachi, en el Río Yaguarón.

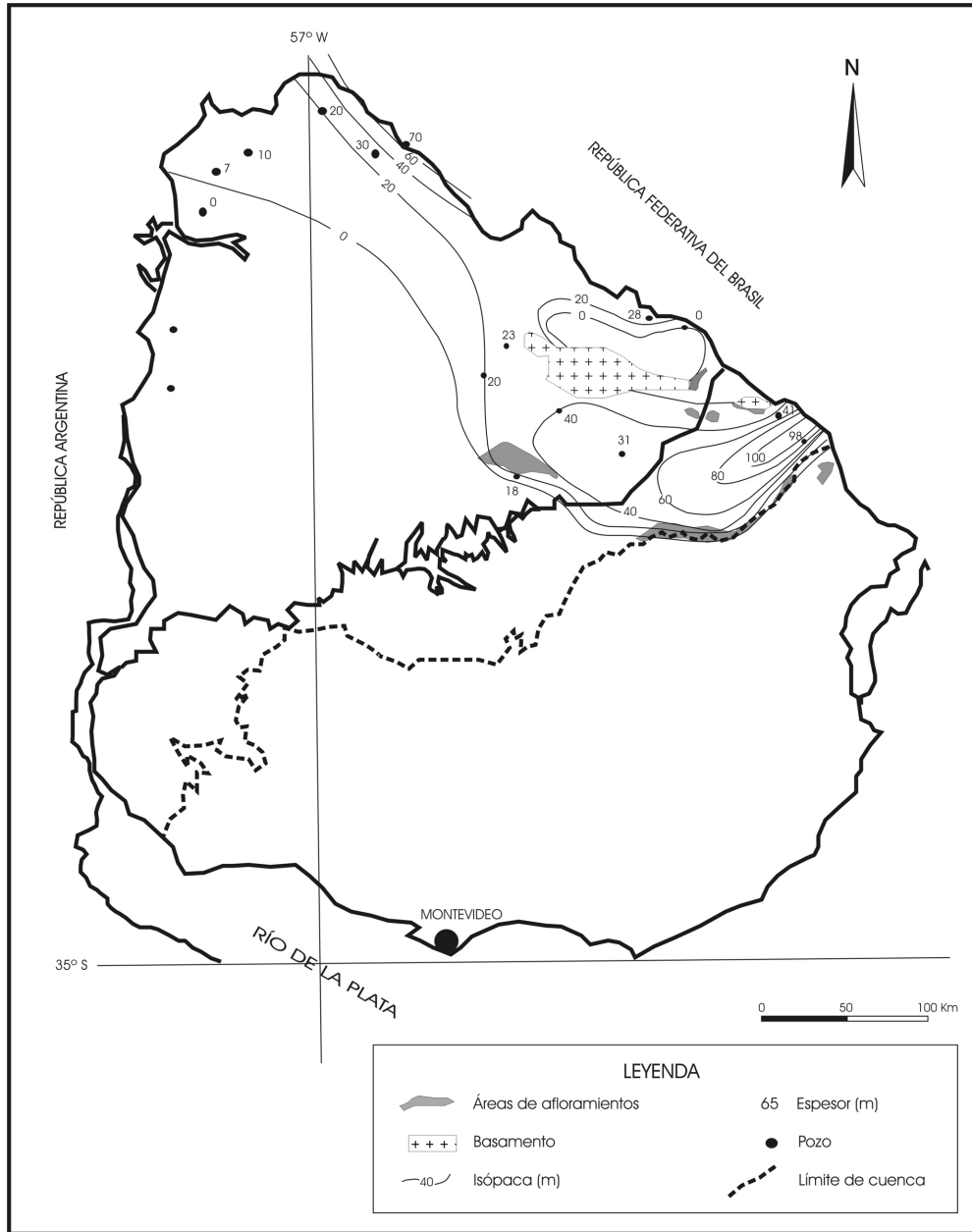


Figura 8 – *Mapa de isópacas de la Formación Tres Islas.*
(Fuente: de Santa Ana 2004)

En el subsuelo del sector occidental, en general, las potencias de la Formación Tres Islas son menores: en el pozo Artigas 70 m y en los pozos Gaspar e Itacumbú 10 y 7 m, respectivamente. En estos dos últimos pozos el

Miembro Cerro La Valeriana está representado por areniscas finas cuarzosas a sublíticas, con estructuras gradacionales y *climbing ripples* que evidencian flujos turbidíticos.

Relaciones de contacto

Las areniscas conglomerádicas y los conglomerados del Miembro Inferior se apoyan en forma discordante sobre las pelitas la Formación Cerro Pelado y sobre el basamento cristalino, en el sector Sudeste de la cuenca. Asimismo, en las localidades de Sierra de los Guazunambí, al Norte de Tres Islas, Rincón de Pi, en el Paso de la Cruz de la Cuchilla Grande, y en el bloque Oeste de la falla del Frigorífico PUL (Ruta 8), entre otros puntos.

En el sector oriental, las areniscas finas con estructuras tipo *hummocky* del Miembro Cerro La Valeriana presentan contactos concordantes y transicionales con la Formación Frayle Muerto, tal como ocurre en superficie en el Cerro La Valeriana, en la escarpa de Rincón de Pi, y a lo largo del curso del Arroyo Seco (departamento de Rivera). En el sector noroccidental, sobre los límites depositacionales de la unidad, las areniscas finas prodeltaicas a marinas del Miembro Cerro La Valeriana muestran relaciones de contacto concordantes y transicionales con la Formación Frayle Muerto (e.g. pozos Yacaré, Artigas, Pelado, Itacumbú, Belén y Gaspar).

Paleontología y edad

En la Formación Tres Islas se cita la presencia de fósiles de vegetales carbonizados, representados por restos de plantas y troncos atribuidos a la denominada flora de *Glossopteris*. Esta flora, asociada a ambientes glaciales, se encuentra en sedimentitas gondwánicas coetáneas de diferentes lugares del mundo (Australia, India, África, Antártida y Sud-América), y fue una de las primeras evidencias que contribuyeron a demostrar la deriva de los continentes (*vide* Capítulo I).

También existen, en esta formación, abundantes registros palinológicos, en particular en las pelitas del miembro superior de la unidad y que fueron estudiadas por varios autores fundamentalmente a partir de pozos realizados en el sector Sudeste de la Cuenca Norte (regiones de Frayle Muerto y Cerro Largo Sur) (Fasolo & Vergel 1994, Beri & Daners 1998, Beri *et al.* 2000). Esta palinoflora está conformada, entre otros, por elementos terrestres como esporas y granos de polen de diferentes tipos, y otros de origen acuático como algas y acritarcas.

Cabe remarcar que hacia el tercio superior de la Formación Tres Islas, particularmente en los depocentros del Norte del departamento de Cerro Largo, se encuentran delgados niveles lentiformes de carbón.

En base a la composición de las diferentes asociaciones palinológicas estudiadas en esta unidad por los autores mencionados *supra*, y a la correlación con las zonaciones propuestas para Argentina y Brasil, se han realizado distintas asignaciones que, con leves variaciones, quedan comprendidas entre los pisos Asseliense y Kunguriense del Pérmico Temprano.

FORMACIÓN FRAYLE MUERTO

El contenido litológico y los límites de la Formación Frayle Muerto fueron redefinidos por de Santa Ana (2004), reuniendo un conjunto de litologías de naturaleza marina plataformal, integradas por pelitas grises a negras finamente laminadas, fosilíferas, localmente bioturbadas, areniscas finas a muy finas blancas a grises claro con estratificación plano paralela, laminación ondulada y estructuras de tipo micro *hummocky*, y niveles calcáreos asociados.

Su desarrollo alcanza una importante extensión de la cuenca, quedando omitida solamente en los sectores Sur y Sudoeste, donde se presentan límites y controles de naturaleza erosiva. En la propuesta, se mantuvo la división litoestratigráfica tripartita de las litologías que informalmente han sido reunidas bajo la denominación de “Sedimentos Pelíticos Grises” (Elizalde *et al.* 1970) o formalmente bajo la Formación Melo (Ferrando & Andreis 1986).

Antecedentes

Las rocas sedimentarias que integran la Formación Frayle Muerto fueron originalmente denominadas como “Palermo” por Falconer (1931), quien las correlacionó con la unidad estratigráfica superior de la Serie de Tubarão, propuesta por White (1908) para el Sistema de Santa Catarina en el sector brasileño de la cuenca.

El término Frayle Muerto fue acuñado por Caorsi & Goñi (1958), quienes originalmente propusieron el nombre de “Lutitas arenosas y calizas de Frayle Muerto”. De esta forma integraron principalmente a las lutitas arenosas laminadas de color gris azulado, areniscas arcillosas con cemento cál-

careo y lentes de caliza asociados. Bossi (1966), la definió con rango de formación y describió en diversos perfiles de pozos y afloramientos sus litologías y relaciones de contacto.

Elizalde *et al.* (1970) la incluyeron dentro de los “Sedimentos Pelíticos Grises” (si bien no se trata específicamente de sedimentos, ni son absolutamente pelíticos, ni todos son grises). Algunos trabajos posteriores integraron las litologías de la Formación Frayle Muerto en la Formación Melo (Ferrando & Andreis 1986, Ferrando & Montaña 1987, Bossi & Navarro 1988, Andreis *et al.* 1996a, Bossi & Ferrando 2001). De Santa Ana *et al.* (1982) caracterizaron y separaron a escala 1:20.000 a la Formación Frayle Muerto en todas las áreas de evaluación de los “esquistos bituminosos”, asociados a la suprayacente Formación Mangrullo. Preciozzi *et al.* (1985) cartografiaron separadamente a los depósitos de la Formación Frayle Muerto (escala 1:500.000), lo que ocurrió también para la distribución en el subsuelo de la unidad (Goso & de Santa Ana 1986). De Santa Ana (1989) mantuvo a esta unidad con jerarquía de formación.

Ferrando & Andreis (1990) y Andreis *et al.* (1996b), describieron en el Arroyo Seco (departamento de Rivera) una sección aflorante a la que consideraron como paraestratotipo de la Formación Melo. Sin embargo, en el curso de este arroyo sólo aflora la Formación Frayle Muerto mostrando hacia las nacientes del arroyo el pasaje interdigitado con las areniscas plataformales de la Formación Tres Islas (Lámina I). Es de resaltar que esta sección del Arroyo Seco, muestra a la Formación Frayle Muerto afectada por una tectónica compresiva sustentada en la presencia de alabeos, fallas inversas y suaves pliegues (*vide* de Santa Ana *et al.* 2001).

Nombre y área tipo

El nombre proviene de la localidad de Frayle Muerto, donde no exhibe ni buenos afloramientos, ni secciones representativas de los litotipos más conspicuos de la unidad. Los afloramientos localizados en los alrededores de Frayle Muerto, así como del arroyo homónimo, se presentan con carácter relictual y afectados por una fuerte tectónica que generó modificaciones epigenéticas de las litologías originales.⁴

4. No se consideró oportuno una modificación del nombre de la unidad ya que está consagrado en la literatura geológica. No obstante, se considera necesario –en una futura instancia– revisar la pertinencia de seguir utilizándolo, ya que no cumple con los requerimientos formales que recomienda el Código de Nomenclatura Estratigráfica Internacional.

Otros sfloramientos importantes de la unidad son: Arroyo Seco (sección de referencia auxiliar–hipoestratopito, *vide* Lámina I: D), Rincón de Pi, alrededores de Clara, curso inferior de la Cañada de los Burros, el flanco Sur de la estructura de Isla Zapata, el Arroyo de la Mina, el Sur del cauce del Arroyo Caraguatá y los afloramientos situados al Oeste de la localidad de Ansina.

Litología y unidades estratigráficas

La Formación Frayle Muerto está constituida por una sucesión de naturaleza esencialmente siliciclástica, con predominio de limolitas y lutitas, y secundariamente, areniscas finas a las que se asocian niveles calcáreos (Lámina I). Estructuras sedimentarias comunes en las limolitas y areniscas son estratificación de tipo *hummocky* y *microhummocky*, laminación ondulada, estratificación cruzada truncada de bajo ángulo y pequeño porte (éstas particularmente en la base de la unidad).

La geometría de los cuerpos es de contorno curvo definiendo formas y estructuras de ordenamiento interno asociadas a procesos tractivos relacionados con ambientes marinos plataformales. Se reconocen delgadas capas carbonosas asociadas a los depósitos pelíticos grises amarillentos (en superficie y gris oscuro a negro en subsuelo) presentando, en general, laminaciones plano paralelas y laminaciones onduladas. Hacia la sección media y tope de la unidad aparecen facies heterolíticas con estructuras *flaser*, lenticular y onduladas.

Desde el punto de vista operacional la unidad puede ser caracterizada en dos grandes conjuntos litológicos: una sección basal donde se intercalan bancos métricos de arenisca muy fina con estratificación *hummocky*, localmente con niveles calcáreos y pelíticos grises, y una sección superior constituida por unidades heterolíticas y pelitas negras laminadas y bioturbadas.

Las areniscas predominantes de la sección basal, se presentan en cuerpos tabulares de gran extensión, con espesores que varía de 3 a 50 cm en la región Este (departamentos de Cerro Largo, Tacuarembó y Rivera), alcanzado espesores métricos en las inmediaciones del pozo Artigas donde la relación faciología arena–arcilla de toda la unidad alcanza los mayores porcentajes (*vide* de Santa Ana 2004).

Los constituyentes litológicos de esta sección basal presentan un patrón retrogradante, materializado estratigráficamente por un apilamiento vertical de areniscas estratodecrecientes. Este arreglo presenta buena definición

en los pozos Artigas, Pelado (departamento de Artigas) y El Águila (departamento de Cerro Largo) así como en los pozos mineros que se localizan al Norte de la “Isla Cristalina de Rivera” (Fig. 2). En esta región se ubica el yacimiento de lutitas pirobituminosas de Cerros Blancos.

Los mapas de porcentaje de arena–arcilla de la Formación Frayle Muerto indican un fuerte predominio de areniscas en la sección basal, particularmente en el sector oriental asociado a la estructura de Rivera–Acegúa–Sierra de Ríos (Fig. 9). En el sector noroccidental, los litotipos heterolíticos y pelíticos de la unidad alcanzan su máximo desarrollo.

En la zona Oeste y Noroeste de la cuenca, aldeaña a los pozos Salto y Belén, las capas de areniscas de la unidad no está representada o se presentan acuñadas en cuerpos decimétricos, siendo aquí donde se registra la mayor subsidencia e influencia marina, materializadas por espesas secciones pelíticas que superan los 350 m de potencia.

El tercio superior de la unidad está representado por una intercalación de pelitas arenosas y lutitas calcáreas, grises y verdosas, que caracterizan este horizonte. Asociadas con estas litologías son comunes la presencia de lentes métricas de carbonato de calcio, con fuertes recristalizaciones y tonalidades marrones y rojizas.

Los caracteres litológicos distintivos de la sección superior de la Formación Frayle Muerto son: el carácter rítmico de los términos psamo–pelíticos de 0,5 a 2 cm de espesor; colores y tonalidades gris claro y verde oliva; la presencia de estructuras depositacionales de tipo *flaser*, ondulante y lenticular afectada por una fuerte bioturbación, y la presencia de lentes y concreciones calcáreas, así como de pirita diseminada y en nódulos. El color más frecuente es gris claro a muy oscuro, el negro es predominante en las secciones limoarcilíticas del tercio superior de la unidad y particularmente en los sectores que caracterizan las regiones más profundas de la cuenca. Se presentan tonalidades verdes oliva, asociadas con litologías finas en la sección intermedia de la unidad y las amarillentas son muy comunes cuando se encuentran meteorizadas.

El material arcilloso que integra los términos superiores de la unidad, presenta una composición sericítica y clorítica. El material clástico está integrado por láminas de biotita y muscovita con clara orientación planar con dimensiones menores a 0,5 mm, con granos de cuarzo y feldespatos de 0,2 a 0,6 mm.

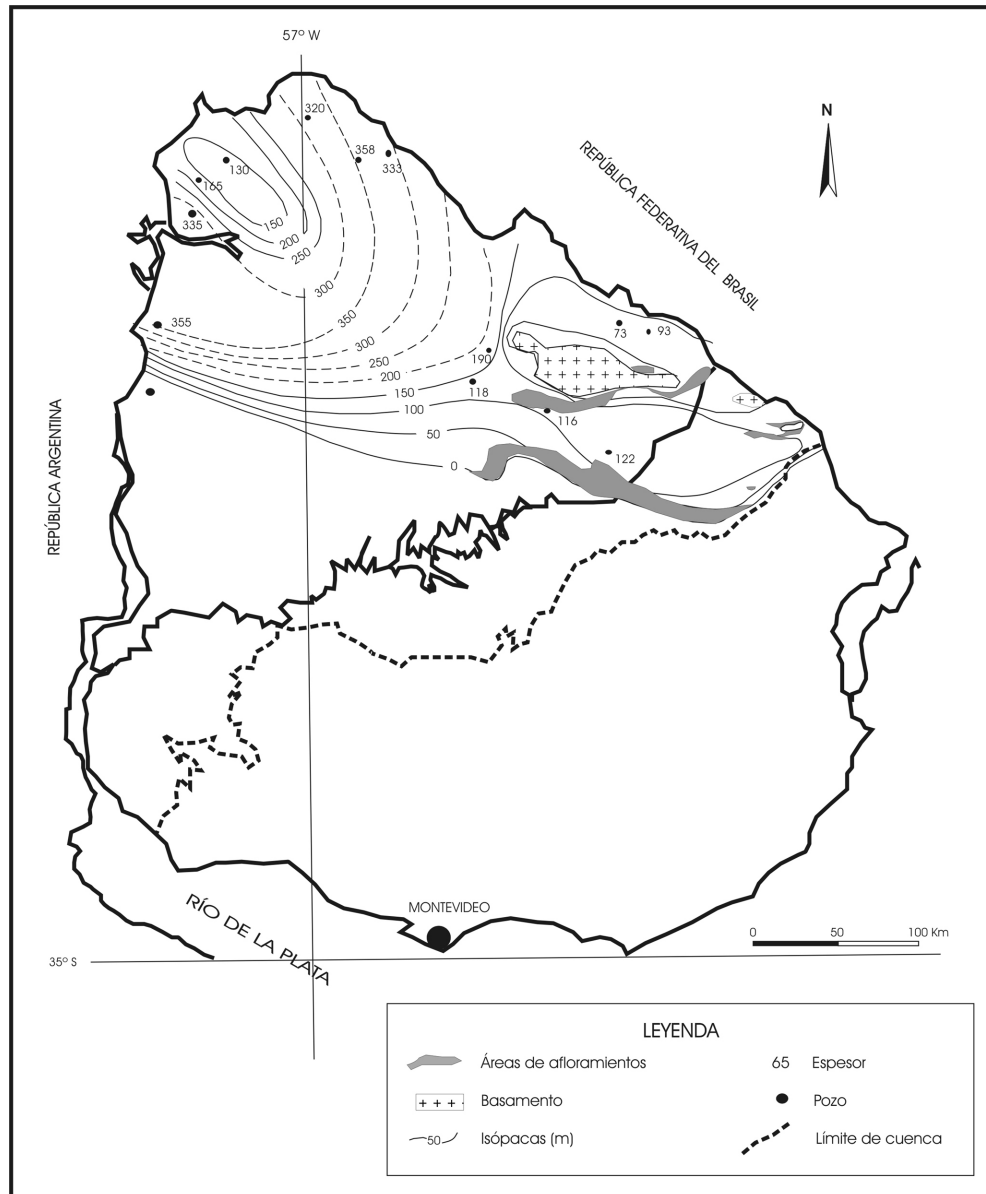


Figura 9 – *Mapa de relación areniscas/pelitas de la Formación Frayle Muerto.*
(Fuente: de Santa Ana 2004).

Las litologías heterolíticas, lutitas y pelitas grises oscuras a negras, micáceas piritosas, del tercio superior, tienen un relativo desarrollo regional. Presentan relaciones verticales y laterales concordantes y transicionales con el resto de las litologías de la formación.

Distribución y potencia

La Formación Frayle Muerto presenta espesores muy variables en la Cuenca Norte. En el mapa de isópacas (Fig. 10) se visualiza su distribución en superficie y subsuelo, donde además se esbozan los principales rasgos estructurales de la unidad.

El desarrollo y espesor de esta unidad han sido definidos a partir del análisis de perforaciones realizadas en diferentes campañas exploratorias, contándose para tal fin con una base de datos de subsuelo, en algunos casos muy fragmentaria, de antiguos pozos de estudio y reconocimiento, y en otros casos referidos a pozos con buena información de perfiles geofísicos e información litológica de la última campaña de pozos exploratorios de hidrocarburos.

En el sector noroccidental, el espesor de la Formación Frayle Muerto que alcanza en los pozos es de: 355 m (Salto), 335 m (Belén), 333 m (Artigas) y 320 m (Yacaré). Algo menor resulta el espesor de la unidad en los pozos Itacumbú (130 m) y Gaspar (165 m). La potencia máxima de la Formación Frayle Muerto es en el pozo Pelado (358 m). En la región oriental, el espesor de la formación disminuye, a saber: 93 m (Cerrillada), 118 m (Tacuarembó), 116 m (Paso Borracho), 122 m (Las Toscas), 100 m (El Águila) y 190 m (Bañado de Rocha).

En el sector Este, al pie de la “Isla Cristalina de Rivera” y al igual que en la zona de Hospital y Sur de Vichadero, la Formación Frayle Muerto presenta espesores en torno a los 50 m. En la Ruta 7 y al Sur de Frayle Muerto, en las proximidades del camino a la localidad de Tres Islas, las pelitas y niveles calcáreos de la Formación Frayle Muerto se presentan en “*onlap*” sobre las areniscas y areniscas conglomerádicas basales de la Formación Tres Islas.

En el Norte del departamento de Cerro Largo, en la base del flanco Sur del Cerro La Valeriana, se expone una sección de 10 m de ritmitas centimétricas, areniscas y pelitas con microestratificación truncada por olas (*microhummocky*). En la falda Sur del Cerro, sobre la margen Norte de la Cañada de los Burros, en una pequeña escarpa de erosión, se observan pelitas micáceas grises, con cuerpos de geometría lenticular de 40 a 50 cm de espesor y 2 m de longitud de areniscas blancas a ocreas, medias cuarzosas, con estratificación *hummocky*.

La Formación Frayle Muerto es atravesada en los pozos Salto, Pelado y Yacaré con espesores máximos entre 300 y 350 m y con franco dominio de facies pelíticas y concentraciones de materia orgánica moderadas a altas. En el departamento de Cerro Largo, siguiendo el lineamiento de la Cañada de los Burros, aparece con potencias entre 125 y 155 m en Paso Mazangano.

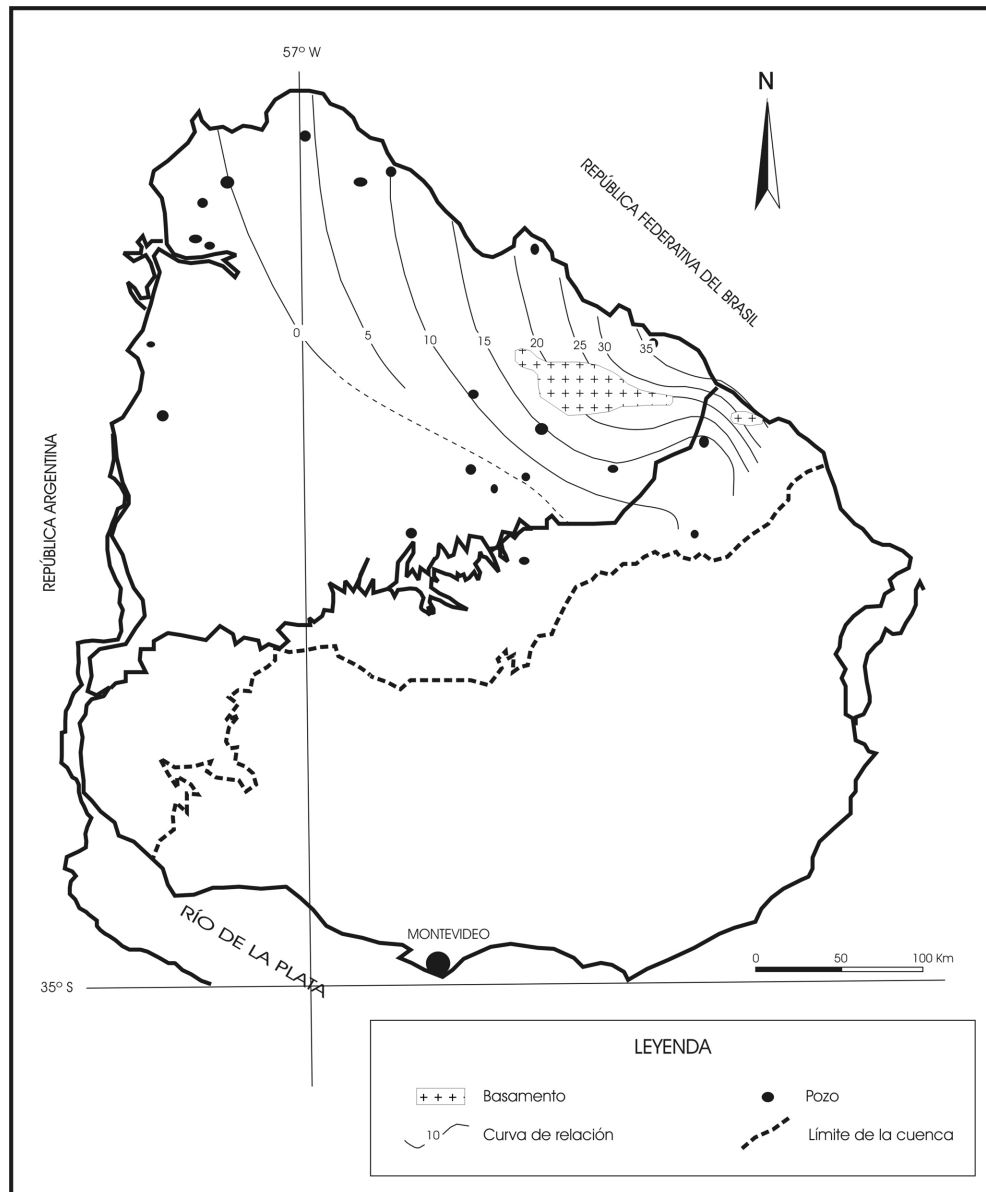


Figura 10 – Mapa de isópacas de la Formación Frayle Muerto.
(Fuente: de Santa Ana 2004).

Relaciones de contacto

Las rocas de la Formación Frayle Muerto muestran pasajes concordantes y transicionales con el Miembro Cerro La Valeriana de la Formación Tres Islas en toda la cuenca. Esta unidad presenta contactos netos y localmente erosivos en el tope con las calizas de la Formación Mangrullo, en el sector oriental de la cuenca. Por otra parte, la Formación Frayle Muerto también presenta pasajes concordantes y gradacionales con las pelitas de la Formación Cerro Pelado (pozos Salto y Tacuarembó), y se apoya en discordancia sobre el basamento cristalino (pozo Cerrillada) y sobre la Formación San Gregorio (pozo Cuchilla de Zamora).

En el tope las relaciones discordantes son con la Formación Buena Vista, tal como se observa en todo el sector occidental de la Cuenca Norte (en los pozos Belén, Yacaré, Artigas, Pelado, Salto, Itacumbú y Gaspar).

Por su parte, en el sector oriental de la cuenca, las relaciones de contacto de los sedimentos pelíticos y heterolíticos del tope de la Formación Frayle Muerto, con las calizas y dolomitas margosas suprayacentes de la base de la Formación Mangrullo son netas y localmente erosivas, relacionadas con hiatos y superficies localmente erosivas, presumiblemente generadas por bruscos descensos del nivel del mar.

Paleontología y edad

Escamas posiblemente ganoides de peces fueron los primeros registros fósiles mencionados para la Formación Frayle Muerto (Caorsi & Goñi 1958). Como en la unidad precedente, también ésta presenta variados restos de microfósiles orgánicos que fueron estudiados en muestras provenientes de superficie y subsuelo (Andreis *et al.* 1996a, Beri & Daners 1995, Beri & Daners 1998, Mautino *et al.* 1998a, b, c).

Hacia el tope de la Formación Frayle Muerto, Piñeiro (2002) cita una asociación paleontológica que incluye restos de peces paleonisciformes y celacántidos, fundamentalmente escamas, dientes y coprolitos, asociados a diferentes tipos de icnofósiles. Además, menciona un nivel de concreciones que contiene restos de bivalvos en la porción cuspidal.

Las asociaciones palinológicas están dominadas por elementos continentales (diferentes tipos de esporas y granos de polen) en la región Sudeste de la cuenca. Hacia el tope de la unidad, para la región Sudeste, así como pa-

ra las secciones que recortan los pozos profundos del sector Noroeste, se encuentran niveles fosilíferos con abundantes acritarcas que evidencian la influencia marina y el sentido de progradación de Oeste hacia el Este del “Mar Frayle Muerto”.

Con respecto al registro de macrofósiles vegetales, esta unidad posee restos de maderas picnoxílicas silicificadas, pertenecientes a tres órdenes de gimnospermas: Cordaitales, Coniferales y Taxales (Crisafulli & Lutz 1995).

Mediante su correlación con asociaciones de Argentina y Brasil, los palinomorfos han permitido asignar a estas rocas una edad Artinskiense–Kunguriense (Pérmico Temprano). La macrofauna, en particular los dientes y escamas de peces, han permitido correlacionar esta unidad con la Formación Palermo de Brasil. Se le asigna aquí una edad Pérmico Temprano debido a su posición estratigráfica (*vide* edad Formación Mangrullo).

FORMACIÓN MANGRULLO

La Formación Mangrullo reúne una sucesión de calizas arenosas y dolomíticas, lutitas pirobituminosas, pelitas micáceas fosilíferas, de colores grises oscuro a negros, asociadas a condiciones subacuáticas restringidas que se localizan en el sector oriental de la cuenca.

Antecedentes

Rocas correspondientes a esta unidad fueron reconocidas por Mars-trander (1915), Walther (1924), Falconer (1931, 1937), Rey Vercesi (1933), Schröder (1935), Caorsi (1957) y Caorsi & Goñi (1958). Fue propuesta como unidad litoestratigráfica independiente por Bossi (1966), a partir de criterios de identidad litológica con relación a las unidades pelíticas finas grises infra y suprayacentes. Tradicionalmente, se correlacionó esta unidad con los niveles bituminosos y calcáreos de la Formación Iratí en la Cuenca Paraná en Brasil.

Elizalde *et al.* (1970), en la cartografía del Segmento Acegúa – Sector XXX integraron a la Formación Mangrullo en el conjunto definido informalmente como “Sedimentos pelíticos grises”. De Santa Ana *et al.* (1982) redefinieron y caracterizaron la unidad en dos ciclos sedimentarios superpuestos. Ferrando & Andreis (1986, 1990) propusieron la creación de la Formación Melo para reunir al conjunto de los “Sedimentos pelíticos grises” de Elizalde *et al.* (1970)

Por su parte, Preciozzi *et al.* (1985), Goso & de Santa Ana (1986), de Santa Ana (1989), de Santa Ana & Veroslavsky (1993) y de Santa Ana & Ucha (1994), consideraron necesaria la individualización de la Formación Mangrullo en la Cuenca Norte.

De Santa Ana & Gutiérrez (2000) redefinieron el contenido litológico, sus relaciones de contacto, la distribución y potencias, las características geoquímicas, así como la importancia económica de las capas pirobituminosas de la formación en el sector Este de la cuenca.

Nombre y área tipo

Teniendo en cuenta los requerimientos que emanan de las guías estratigráficas internacionales, la propuesta inicial del nombre de esta unidad (Bossi 1966) no se ajusta a las normativas establecidas, ya que en el poblado Mangrullo sólo se desarrollan y afloran los términos superiores de la Formación Paso Aguiar y las litologías basales de la Formación Yaguarí.⁵

Se ha definido como sección tipo en subsuelo (yacimiento Mangrullo), la localizada al Sur de la Cañada de los Burros, donde la unidad presenta la mayor área expuesta preservada de la cuenca, con casi 3.000 m de testigos corona (*vide* de Santa Ana & Gutiérrez 2000) y por lo tanto, mantener la nominación de Formación Mangrullo en alusión a ese yacimiento donde la unidad posee algo más de 20 km² de extensión.

Se considera al afloramiento de la Formación Mangrullo en la represa de la Cañada del Rodeo del Barón (extremo Oeste del yacimiento Mangrullo) como el hipoestratotipo de la unidad, a pesar que sólo aflora el segundo ciclo depositacional (Lámina II). Varios trabajos sobre la unidad se han realizado en esta sección, tanto estratigráficos como paleontológicos (de Santa Ana & Gutiérrez 2000, Beri & Pecoits 2001, Piñeiro 2002).

Litologías

La Formación Mangrullo esta constituida por lutitas, limolitas grises a negras, calcilutitas, calizas dolomíticas y dolomías, con finas intercalaciones de niveles detríticos finos, algo carbonosas y con alto contenido de materia orgánica de naturaleza pirobituminosa.

5. Se cree inconveniente, en este momento, un cambio de nomenclatura para esta unidad. Su arraigo y consagración en la literatura geológica nacional y regional configura un argumento válido para mantenerlo, aunque no se descarta en una posterior oportunidad discutir la validez de su utilización.

La caracterización y definición litoestratigráfica de la unidad se ajusta a la propuesta de Santa Ana *et al.* (1982) y de Santa Ana & Gutiérrez (2000), en donde se definen dos ciclos de sedimentación representados de base a tope por calcilitas y calizas dolomíticas, lutitas pirobituminosas, pelitas micáceas grises a negras, calcilitas y calizas arenosas, y lutitas pirobituminosas hacia el tope de la unidad. Para mayores detalles véase de Santa Ana (2004).

Distribución y potencias

En el mapa de isópacas de la Figura 11, se observa la distribución de la Formación Mangrullo en la Cuenca Norte. Hacia el Sur, en la región de Frayle Muerto, la unidad comienza a evidenciar un adelgazamiento (20 m), presumiblemente vinculado a factores depositacionales y erosivos. En la región del Pueblo Isidoro Noblía (Norte del departamento de Cerro Largo) se identifica una importante depresión donde la unidad supera los 35 m de potencia.

Al Sur de la ciudad de Melo y al Sur de Paso Arriera en la Ruta 44, las rocas de la Formación Mangrullo se encuentran fuertemente deformadas y afectadas térmicamente por intrusiones diabásicas, por lo que resulta difícil definir los espesores originales de la unidad. Análoga situación se observa a nivel de superficie y subsuelo en la región de Frayle Muerto, Cuchilla de Pereira, Caragatá y Arroyo Yaguarí, donde se presentan fuertemente deformadas y pirolizadas *in situ*.

En el límite occidental del área de desarrollo de la Formación Mangrullo, se presentan dificultades para definir la potencia y algunas características sedimentológicas por las modificaciones asociadas con el magmatismo mesozoico. De todas formas, es posible apreciar en los dos ciclos una mayor proporción de arena fina, muy madura y una mayor interdigitación calcárea, lo que podría estar sugiriendo condiciones sedimentarias ambientales más someras.

Paleontología y edad

La Formación Mangrullo es la que, de todas las unidades permocarboníferas, más cantidad y variedad de fósiles ha brindado. Hacia mediados del siglo XX, varios autores habían citado restos de reptiles mesosáuridos en estas rocas, aunque éstos estaban representados solamente por costillas y vértebras desarticuladas (*vide* Piñeiro 2002, 2004). En los últimos años se

han realizado nuevos y numerosos hallazgos en esta unidad que incluyen individuos articulados de mesosáuridos (*vide* Capítulo VII).

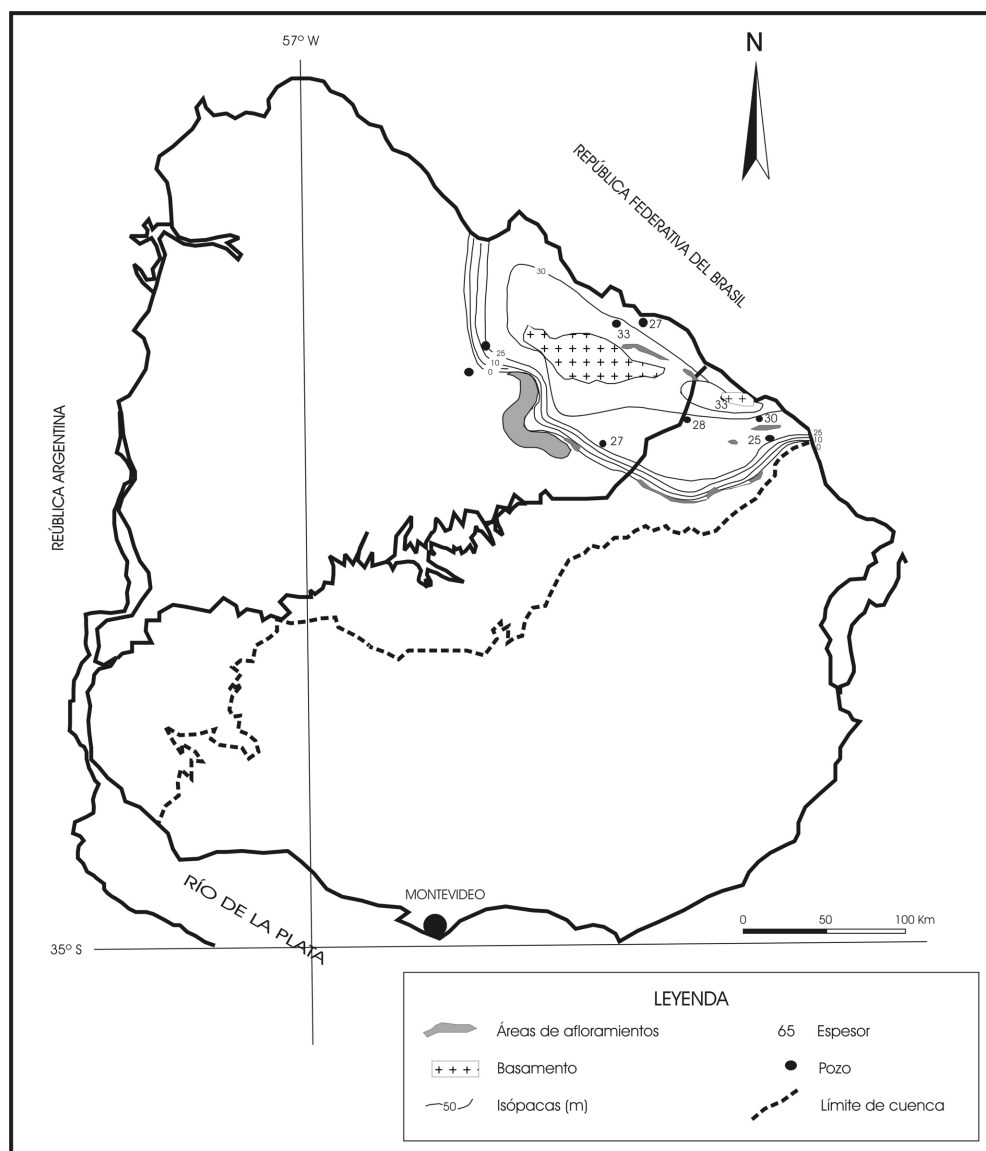


Figura 11 – Mapa de isópacas de la Formación Mangrullo.
(Fuente: de Santa Ana & Gutiérrez 2000)

En íntima asociación con los mesosáuridos, Piñeiro (2002) ha encontrado crustáceos representantes de dos grupos: Pygocephalomorpha y Cycloidea. Pinto *et al.* (2000) y Piñeiro (2002) hallaron los primeros restos fósiles de

cuerpos de insectos en la Cuenca Norte, incluyendo nuevos taxa en esta unidad. Además, se describieron restos de peces óseos Paleonisciformes (escamas y dientes) y Coelacanthidae (escamas) (Piñeiro *et al.* 1998, Piñeiro 2004), bivalvos (Figueiras & Broggi 1968), icnofósiles (Piñeiro 2002, Verde & Piñeiro 2003) y palinomorfos (Bossi & Navarro 1988, Beri & Daners 1995, Andreis *et al.* 1996a, Piñeiro *et al.* 1998, Beri & Pecoits 2001, Antonioli *et al.* 2005).

La asignación temporal de la Formación Mangrullo es motivo de controversias. En base a las asociaciones palinológicas, se le ha asignado una edad Pérmico Tardío. Por otra parte, los fósiles estudiados en los últimos años (*vide* Capítulo VII) muestran una clara correspondencia con la edad propuesta para la Formación Whitehill de África del Sur (Pérmico Temprano, *vide* Capítulo VII). Por último, las edades radimétricas de los niveles de cenizas presentes en Cañada del Barón (departamento de Cerro Largo) dieron valores entre $269,8 \pm 4,7$ Ma y $279 \pm 6,4$ Ma, permitiendo posicionar la unidad en el Pérmico Temprano. Se propone aquí aceptar una edad Pérmico Temprano alto para la Formación Mangrullo.

FORMACIÓN PASO AGUIAR

La Formación Paso Aguiar está compuesta de base a tope por una sucesión de pelitas grises micáceas con intercalaciones de areniscas calcáreas y venas calcosilicosas, que pasan gradualmente a ritmitas finas (pelíticos/arenosos), grises verdosas, con estratificación *flaser*, lenticular y ondulante y cuyos términos comúnmente aparecen bioturbados. Desde el punto de vista ambiental estas litologías son de naturaleza marina plataformal epinerítica. Su desarrollo se restringe a la región occidental de la cuenca.

Antecedentes

Fue identificada originalmente por Caorsi & Goñi (1958) como “Areniscas arcillosas de Paso Aguiar” presentando como área tipo el afloramiento localizado en el Paso de Aguiar sobre el Río Negro y cruce con la Ruta 26. Fue elevada al rango de formación por Bossi (1966), que la define como constituida por areniscas finas y limolitas finamente estratificadas de tonalidades pardo grisáceas y verdosas. Elizalde *et al.* (1970), como ya fue señalado, la incorporó a los “Sedimentos Pelíticos Grises” criterio seguido por Ferrando & Andreis (1986) para definir la Formación Melo. Otros autores mantuvieron el criterio de unidad formal independiente tal como fue analizado anteriormente.

Nombre y área tipo

En el área tipo de la Formación Paso Aguiar (cruce de Ruta 26 y el Río Negro) sólo se ven algunos afloramientos, que se observan en momentos de bajante del río. No se considera conveniente el cambio de denominación. Una sección de superficie de la Formación Paso Aguiar se reconoce en la localidad de Villa Viñoles, en la Ruta 7, observándose inclusive las relaciones de contacto con las unidades supra e infrayacentes. Otras exposiciones de la unidad superior y la transición con la Formación Yaguarí se presentan en los alrededores de la localidad de Mangrullo, en los afloramientos del Paso Taborda sobre el Arroyo Bañado de Medina y sobre el camino que une Isidoro Noblía a San Diego.

Litologías

Los aspectos litológicos de esta unidad han sido definidos a partir de datos de superficie y subsuelo. La Formación Paso Aguiar presenta un ordenamiento grano y estratocreciente. Está integrada por pelitas grises a grises oscuras, que pasan transicional y gradualmente a ritmos milimétricos y centimétricos constituidos por pelitas y areniscas finas a muy finas, algo calcáreas, grises a grises verdosas, con estratificación ondulada y localmente truncada.

Siguiendo criterios operacionales, se definieron dos conjuntos litológicos:

- a) uno basal y predominantemente pelítico, constituido por pelitas negras a grises y micáceas, con finas intercalaciones de pelitas arenosas muy finas, calcáreas, con laminación ondulada y de tipo *microhummocky* en el tope. Las pelitas micáceas presentan coloraciones grises oscuras y claras, que se relacionan a la presencia de materia orgánica que alcanza 0,5% de COT. Es frecuente el desarrollo de estructuras sedimentarias epigenéticas tales como cristales de pirita y recristalizaciones calcíticas de aspecto fibroso, y
- b) otro superior, donde se suceden ritmitas y areniscas finas calcáreas, donde los términos ritmíticos arena–pelíticos son centimétricos a milimétricos, con estratificación ondulada y lenticular, con tonalidades grises y ocasionales lentes de areniscas finas calcáreas con ondulitas de oscilación. En las capas de la transición hacia la Formación Yaguarí se destaca la presencia de fuerte bioturbación y restos de maderas silicificadas, en algunos casos con muy buen grado de preservación.

En la Lámina I se muestran los afloramientos que ilustran las características litológicas señaladas *supra*.

Distribución y potencia

La distribución de la Formación Paso Aguiar se restringe, exclusivamente, al sector Este de la Cuenca Norte donde alcanza el espesor máximo de 200 m en el pozo Paguero (Paso Mazangano). En el resto de la cuenca oscila en potencias del orden de 100 m. En el borde occidental se evidencian controles erosivos y depositacionales. La unidad basal se desarrolla en la subcuenca Este y alcanza un espesor de 50 m en la perforación El Águila. La unidad superior se desarrolla en toda la región Este de la cuenca y presenta un espesor próximo a 80 m en el pozo El Águila. En el pozo Paguero este conjunto litológico excepcionalmente alcanza casi 150 m de potencia.

En toda la región occidental de la cuenca, no se preservan registros litológicos de la Formación Paso Aguiar, quedando exclusivamente circunscrita al ámbito depositacional de la región oriental.

En los altos del basamento de la “Isla Cristalina de Rivera – Hospital y Aceguá” los controles de la Formación Paso Aguiar son erosivos. Lo mismo ocurre en la región de Sierra de Ríos, en el sector Nordeste del departamento de Cerro Largo. Las diferencias de espesores que se registran en los diferentes sectores de la región oriental, así como las omisiones generadas en el sector occidental de la cuenca, muestran la actuación de episodios tectónicos sinsedimentarios y postsedimentarios. En la Figura 12 se presenta el mapa de isópacas de esta formación.

Relaciones de contacto

Las relaciones de contacto de esta unidad con las capas infrayacentes de lutitas bituminosas de la Formación Mangrullo son netas y concordantes, mostrando una disminución del tenor de la materia orgánica y pérdida de la marcada laminación y fisilidad en las limolitas grises de la Formación Paso Aguiar.

Esta unidad litológica presenta relaciones concordantes con la capa pirobituminosa del ciclo superior de la Formación Mangrullo, estando el contacto muy bien definido en la sección de la Cañada del Rodeo del Barón.

La naturaleza de los contactos con la Formación Yaguarí es siempre concordante y transicional con cambios en las tonalidades de los sedimentos.

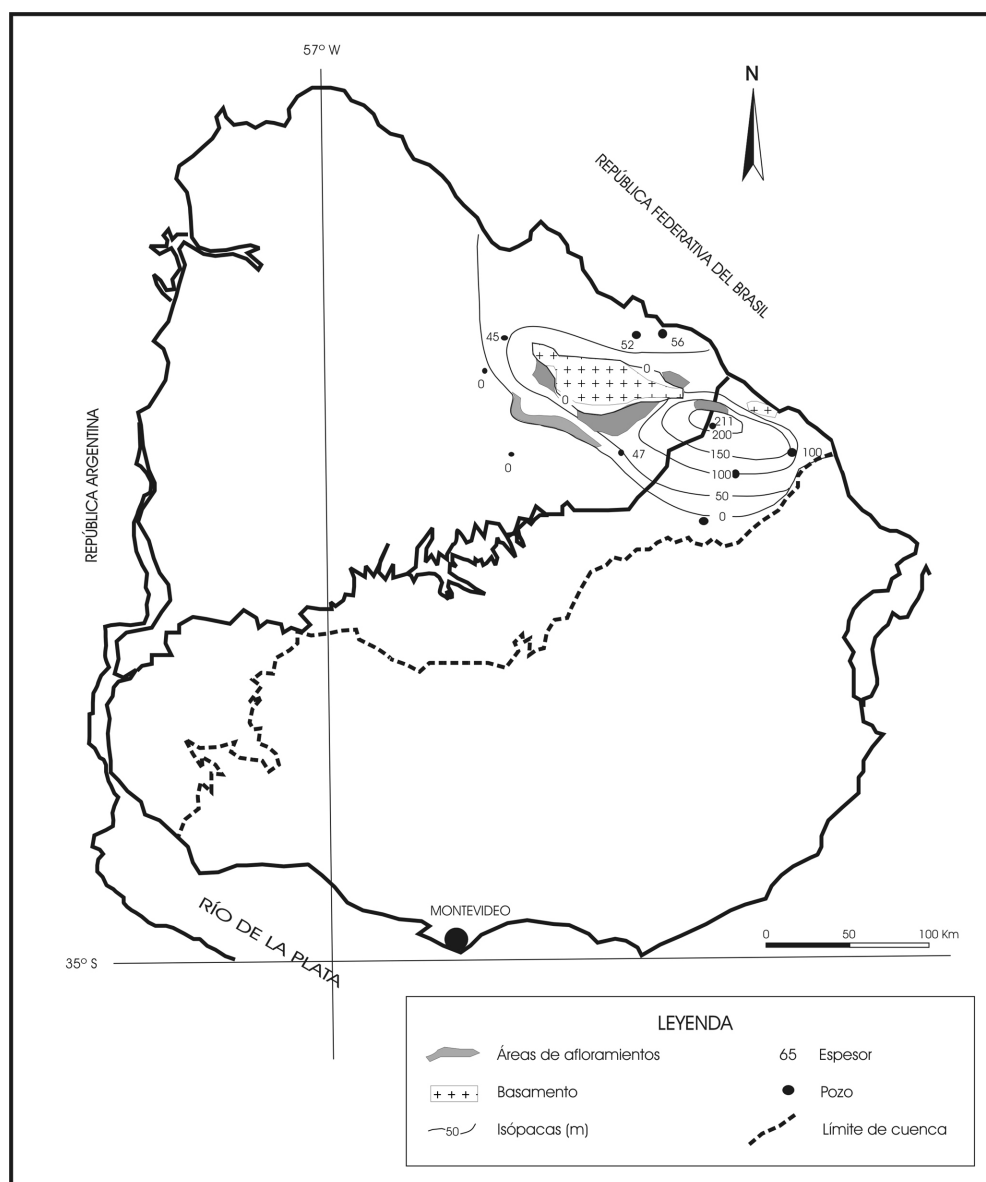


Figura 12 – Mapa de isópacas de la Formación Paso Aguiar
(Fuente: de Santa Ana 2004).

Paleontología y edad

Esta unidad presenta un registro fósil relativamente pobre, si se compara con los otros miembros carbonífero–pérmicos asociados. Mones & Figueiras (1981) mencionan la presencia de moluscos y troncos de gimnos-

permas. Piñeiro (2002) destaca la presencia de diversos morfotipos de escamas y dientes de peces paleonisciformes. Por otra parte, Herbst *et al.* (1987a) y Zamuner (1996), han descrito restos vegetales (improntas y troncos silicificados) asociados a la flora de *Glossopteris*.

En cuanto al registro de microfósiles, Beri & Daners (1995) citan una asociación palinológica que permite posicionar a esta unidad en el Pérmico Tardío. Sin embargo, las relaciones estratigráficas con las unidades infra y suprayacentes discutidas en este capítulo permitirían asignar esta formación al Pérmico Temprano alto.

FORMACIÓN YAGUARÍ

Esta unidad está caracterizada por una sucesión de areniscas finas verdosas que gradan a pelitas y areniscas varicolores con tonalidades muy vivas. Estas litologías desde el punto de vista ambiental marcan el pasaje desde una plataforma somera a planicies costeras arenosas, mixtas y arcillosas bajo influencia mareal.

Antecedentes

Las rocas sedimentarias asociadas a esta unidad fueron originalmente citadas por diversos autores, atribuyéndoles nominaciones definidas para capas relativamente equivalentes de la región brasileña de la Cuenca Paraná (“Camadas de Rio do Rastro”, “Calcáreos de Rosinha” y “Esquistos abigarrados de Estrada Nova”, de White 1908). Falconer (1937) denominó a estas litologías como “Estrada Nova”, habiendo relevado los principales afloramientos.

Caorsi (1957) y Caorsi & Goñi (1958) son los primeros en definir a las rocas sedimentarias arcillosas rojas y abigarradas con referencia a una localidad del sector uruguayo de la cuenca, citando la zona del Arroyo Yaguarí en el departamento de Rivera, como uno de los puntos donde mejor se expone la unidad.

Bossi (1966) propuso la denominación de Formación Yaguarí y la definió como constituida por arcillitas, lutitas y calizas, diferenciándolas de las subyacentes por las tonalidades. El mismo autor señaló la imposibilidad de separar a la Formación Buena Vista como una unidad independiente aludiendo a la falta de identidad litológica.

En Elizalde *et al.* (1970), se efectúa una detallada caracterización litoestratigráfica de la Formación Yaguarí.

Bossi & Navarro (1988), siguiendo los criterios litoestratigráficos definidos por Ferrando & Andreis (1986), propusieron la designación de Miembro San Diego (unidad inferior) y Miembro Villa Viñoles (unidad superior) de la Formación Yaguarí. La elección de esas localidades no son las adecuadas, teniendo en cuenta principalmente que en la localidad de Villa Viñoles y en la Ruta 7 al Este, se presenta una buena sección continua de afloramientos de la Formación Paso Aguiar, donde está representada tanto la unidad inferior como superior.

Nombre y área tipo

En el departamento de Rivera, sobre el Arroyo Yaguarí, Bossi (1966) definió el área tipo de la unidad, citando entre otros afloramientos a los del Norte de la “Isla Cristalina de Rivera” (en las Rutas 27 y 28), y al pie del Cerro La Calera, donde presenta un perfil de aproximadamente 50 m. En éste predominan los términos pelíticos y lutíticos, de naturaleza montmorillonítica e illítica, con intercalación de areniscas finas rojas y lentes arcillosos, mientras que hacia el tercio superior aparecen niveles decimétricos de calcáreos, conglomerados y areniscas conglomerádicas que, de acuerdo a la opinión del autor, los considera presumiblemente retrabajados por acción marina litoral.

Litología y unidades estratigráficas

La Formación Yaguarí reúne un conjunto de litologías predominantemente siliciclásticas, arenosas finas y pelitas, que presentan en común colores primarios representados por tonalidades vivas siendo comunes los tonos abigarrados, predominando el verde, violáceo, rosado, rojo, castaño y morado (Lámina II). Las tonalidades amarillas son menos comunes y pueden estar reflejando colores secundarios.

Se propone aquí la subdivisión de la Formación Yaguarí en dos miembros:

- a) El Miembro Inferior está constituido por areniscas finas a medias micáceas arcillosas de color gris verdosas, con *ripples* y *climbing ripples*; localmente aparecen láminas limolíticas de tonalidades violáceas y abigarradas. Son de composición cuarzosa, aunque pueden ocurrir localmente

porcentajes relativamente altos de clastos de composición lítica y feldespática. También se integran a esta unidad areniscas medias localmente gruesas de color blanco con moteados verdes y con estratificación cruzada de bajo ángulo. Las areniscas son finas a medias, grises claras y verdosas, sublíticas y micáceas presentan estratificación horizontal y cruzada de bajo ángulo, en algunos casos de tendencia tangencial. Asociados a estas litologías, aparecen *ripples* en sucesión de estratos delgados que muestran direcciones de paleocorrientes opuestas y *ripples* de interferencia con crestas rectilíneas.

- b) El Miembro Superior reúne a una sucesión de areniscas finas y pelitas interestratificadas varicolores (verdes, rojas, marrones, naranjas, blanquecinas) con ocasionales lentes y niveles arcillosos rojos y calcáreos blancos, al tope. Asociados a las pelitas y areniscas muy finas se desarrollan estructuras concrecionales esferoidales y nódulos de carbonato de calcio. Rocas calcáreas blanquecinas, laminadas, localmente yesíferas se presentan dispersas y con un carácter lenticular. Particularmente en la zona de Ataques, La Calera y en las proximidades de Cuñapirú, Vichadero y Moirones (departamento de Rivera), las pelitas rojas con cuerpos arenosos se relacionan con paquetes de calcretes pedogenéticos. A su vez, se reconocen asociados a este Miembro niveles de cenizas volcánicas que originan los depósitos bentoníticos (e.g. Bañado de Medina, alrededores de Aceguá. *Vide Lámina II*).

Distribución y potencia

El mapa de isópacas de la Figura 13 muestra la distribución, desarrollo y variaciones de espesor de la Formación Yaguarí en el sector oriental de la Cuenca Norte.

Las potencias de la Formación Yaguarí al igual que el resto de las unidades pérmicas, presenta fuertes variaciones y en algunos sectores omisiones. En el pozo El Águila se registra el mayor espesor de la unidad (100 m) mientras que en el pozo Las Toscas es de 53 m, en Bañado de Rocha 70 m, en el pozo Cerrillada 23 m, y en el pozo Yaguarí 58 m.

En la región noroccidental de la cuenca no se conocen depósitos de la Formación Yaguarí, preservándose algunos relictos en el sector Sudoeste y también en la secuencia correspondiente al *prerift* de la plataforma continental uruguaya (Ucha *et al.* 2004). El Miembro Superior presenta una mayor distribución regional, particularmente en el sector Nordeste del departamento de Rivera. En el departamento de Cerro Largo se presentan buenos aflora-

mientos del Miembro Inferior (2 km al Norte del pueblo Mangrullo, sobre el camino a la Cañada de los Burros y San Diego, y sobre el camino que une Noblía y San Diego). Las cenizas volcánicas, asociadas a una sedimentación subacuática bajo influencia mareal, ocurren en los alrededores de la localidad de Bañado Medina en la Ruta 7 (Lámina II).

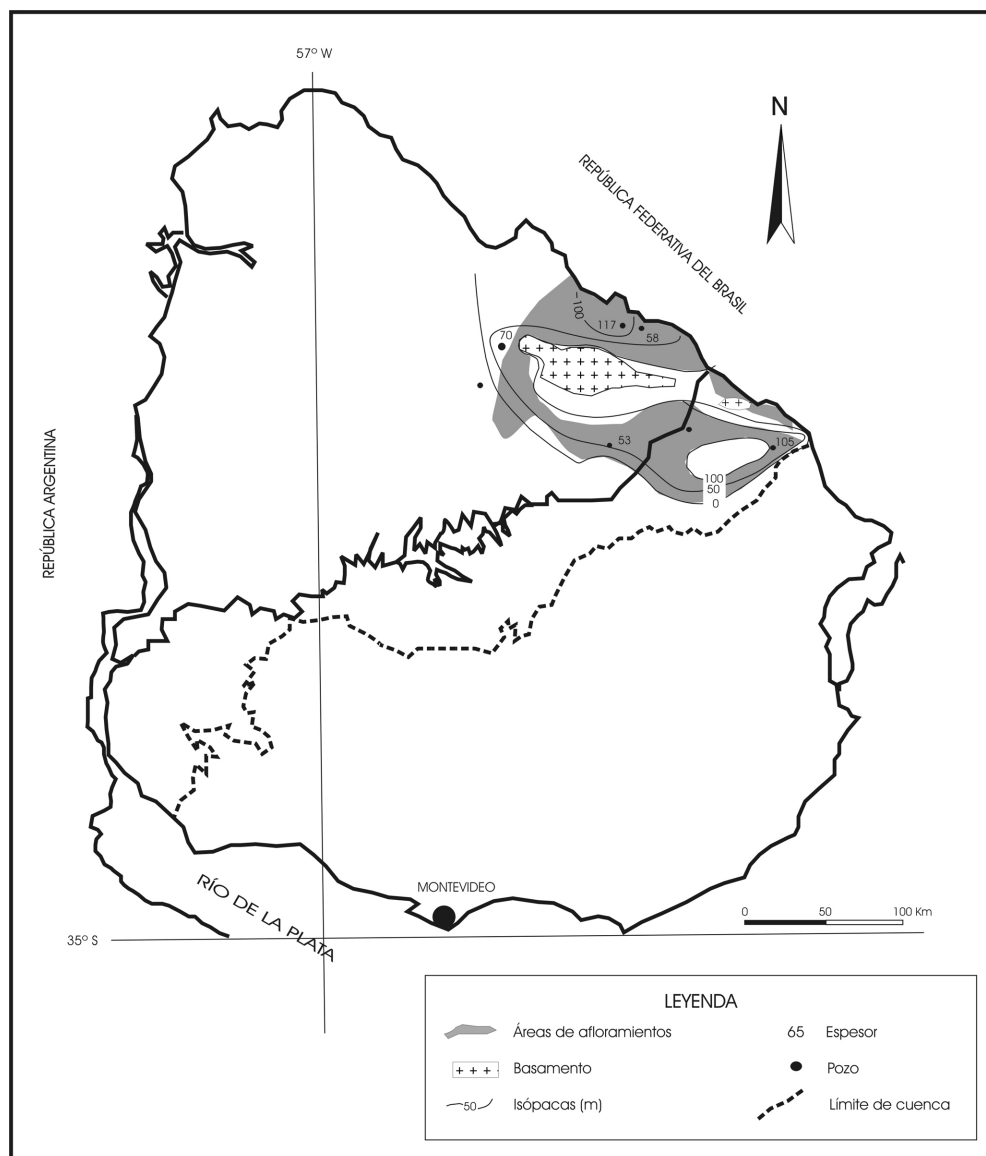


Figura 13 – Mapa de isópacas de la Formación Yaguari.
(Fuente: de Santa Ana 2004)

Relaciones de contacto

Los contactos y límites de la Formación Yaguarí son transicionales con la infrayacente Formación Paso Aguiar. En la “Isla Cristalina de Rivera”, al Norte de la ciudad de Cuñapirú, la Formación Yaguarí se apoya en discordancia sobre el basamento cristalino (Bossi 1966).

Las relaciones de contacto de la unidad pelítico–arenosa y pelítica del tope de la Formación Yaguarí con la Formación Buena Vista son en ocasiones graduales, netas y concordantes. Contactos entre ambas unidades en superficie se observan en la región oriental de la Cuenca Norte en la Ruta 7 al Este de Melo.

En el sector central de la región Este de la cuenca, en la zona de Zapallar en la Ruta 44 y en la Ruta 26, y en las proximidades de la localidad de Bañado Medina, los niveles de arcillitas con bentonitas y las pelitas rojas y marrones con *ripples* aislados de la Formación Yaguarí, se contactan con las areniscas medias y niveles conglomerádicos de la base de la Formación Buena Vista.

Paleontología y edad

Los primeros hallazgos fósiles para esta unidad fueron referidos por Cox (1934), quien cita restos de moluscos bivalvos y crustáceos conoestráceos. Estos últimos también fueron registrados por Falconer (1937).

Los bivalvos mencionados fueron objeto de estudios posteriores realizados por Herbst *et al.* (1987b) y Morton & Herbst (1990), mientras que nuevas citas de conoestráceos son aportadas por Gallego *et al.* (1993). Zibert (1988) y Díaz Saravia & Herbst (2001) describieron varios géneros de ostrácodos en la porción inferior de esta formación asociados a la fauna de bivalvos.

En cuanto a los microfósiles vegetales, Herbst *et al.* (1992) y Herbst & Gutiérrez (1995) describieron asociaciones integradas fundamentalmente por impresiones de hojas, compuestas por Lycophyta, Sphenopsida, Filicopsida, Glossopteridales y Cordaitales. Los *taxa* que integran estas paleofloras se asocian a la conocida flora gondwánica de *Glossopteris*. Además, y asociado a la flora anterior, se citan restos de tallos silicificados de helechos pertenecientes al orden marattiales (Herbst 1987), así como grandes troncos

también silicificados de madera picnoxílica (Andreis *et al.* 1996a). Crisafulli (2001, 2002, 2003) estudió la rica paleoxiloflora hallada en estas sedimentitas cuyos restos de leños han sido asignados a gimnospermas (Coniferales y Ginkgoales).

Cox (1934) había asignado inicialmente una edad Triásico a la Formación Yaguarí basado en los bivalvos por él descritos. Posteriormente, diversos autores que analizaron estratigráfica y paleontológicamente a estas rocas, coincidieron en asignarlas al Pérmico Superior (de Santa Ana 1989, de Santa Ana & Veroslavsky 1993, Goso *et al.* 2001 y Piñeiro 2002). Actualmente, basado en nuevas interpretaciones y análisis radiométricos, es posible suponer que la sedimentación de esta unidad haya comenzado a partir del Kunguriense (Pérmico Temprano alto o Pérmico medio).

FORMACIÓN BUENA VISTA

La Formación Buena Vista está compuesta por una potente sucesión de areniscas finas a medias, rojas a blanquecinas, que se intercala con niveles pelíticos rojos y conglomerádicos, caracterizando a ambientes transicionales proximales y a sistemas continentales (fluviales y eólicos). Alcanza su mayor desarrollo y espesor en la región infrabasáltica del sector occidental de la cuenca, donde supera los 670 m.

De Santa Ana (2004) propuso la subdivisión de esta formación en dos miembros: el Miembro Colonia Orozco, constituido por areniscas finas a gruesas arcillosas, cuarzosas a subarcósicas rojas, con niveles conglomerádicos y niveles pelíticos rojos, y el Miembro Cerro Conventos, constituido por areniscas finas a medias, blancas a rosadas, cuarzosas con granos esmerilados y muy redondeadas, en general con cemento calcítico, con estratificación horizontal subparalela y cruzada de alto ángulo y de gran porte.

Antecedentes

Esta unidad fue descrita por Falconer (1931, 1937) como “Areniscas de Buena Vista” y las integró a lo que denominó “Areniscas y esquistos de Estrada Nova” haciendo referencia a la similitud litológica con las unidades de la Cuenca Paraná en territorio brasileño. Caorsi (1957) y Caorsi & Goñi (1958) la cartografiaron como “Areniscas rojas de Buena Vista” separándola de las “Areniscas de Tacuarembó” y de las pelitas y arcillas abigarradas de la Formación Yaguarí.

Bossi (1966) integró a las “Areniscas de Buena Vista” a la Formación Yaguarí, aludiendo a las similitudes faciológicas entre ambas unidades en diferentes sectores de la región Este y Nordeste de la cuenca. Elizalde *et al.* (1970) y Preciozzi *et al.* (1985), integraron las “Areniscas de Buena Vista” al Miembro Superior de la Formación Yaguarí. Goso & de Santa Ana (1986) consideraron a la Formación Buena Vista como una unidad estratigráfica independiente de las formaciones Tacuarembó y Yaguarí. Ferrando & Andreis (1986) restringen su ocurrencia a los alrededores de la localidad de Buena Vista, no reconociéndola en el resto de la cuenca. De Santa Ana (1989) y de Santa Ana & Ucha (1994), redefinieron a la Formación Buena Vista para todo el ámbito de la cuenca y la integraron a un evento depositacional en el Sistema Jurotriásico.

Litologías y unidades estratigráficas

La Formación Buena Vista redefinida, está constituida por areniscas muy finas a medias, localmente gruesas a muy gruesas con niveles de ortopsefitas y areniscas conglomerádicas de variada característica y composición.

Las areniscas presentan poca matriz pelítica y abundante cemento carbonático. Los granos que integran la fracción arenosa, presentan texturas que marcan diferentes grados de madurez.

Las tonalidades primarias son generalmente rojizas, pudiendo ocurrir colores rosados y blanquecinos, muchas veces vinculados a procesos de decoloración. Asociadas a las areniscas se desarrollan potentes paquetes pelíticos rojos masivos a débilmente laminados, con estructuras de deformación. Los términos gruesos están representados por niveles centimétricos a decimétricos de conglomerados con clastos de hasta casi 10 cm de diámetro.

Miembro Colonia Orozco

Este Miembro se presenta en el sector Sudeste y centro–Sur de la cuenca con las mejores exposiciones en la región de Colonia Orozco, al Norte y Noroeste de la ciudad de Melo y a lo largo de la Cuchilla Grande. También se reconocen litologías asimilables a este Miembro, particularmente conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas gruesas a medias, en los alrededores de la localidad de San Jorge en el departamento de Durazno (Lámina II), apoyándose en discordancia sobre la Formación San Gregorio y por debajo de los basaltos mesozoicos de la Formación Arapey.

El Miembro Colonia Orozco fue estudiado en detalle por Goso *et al.* (2001) y está integrado por una sucesión de areniscas finas a medias, localmente gruesas, con poca matriz pelítica, con estratificación cruzada, en artesa y con laminación paralela a ondulada. Las tonalidades dominantes son rojas. También se describen niveles de intraconglomerados fosilíferos (Piñeiro & Ubilla 2003) con clastos de arcilla de color rojo, y pelitas y limoarcillitas masivas o con laminación mal definida. Asociados a estos niveles finos, se intercalan cuerpos arenosos blanquecinos con estratificación cruzada, laminación tipo *ripple* y estratificación gradada inversa (Lámina II).

Las estructuras sedimentarias predominantes de la unidad son estratificación cruzada planar, tangencial y en artesas, con estratos de pequeño a mediano porte y con ángulos bajos. También se desarrollan formas canalizadas con estratificación gradada, lineación *parting* y laminación fina paralela y microestratificación cruzada por migración de *ripples* de corriente.

Las arcillitas y pelitas arenosas rojas son macivas o con laminación planoparalela, a veces mal definida, con figuras de deformación de tipo calcos de carga. Asociadas a estas litologías, se localizan concreciones carbonáticas de forma elipsoidal y septarias de variados tamaños, alcanzando los 20 cm de diámetro.

En la base del Miembro Colonia Orozco, los paquetes arenosos presentan en su tope *ripples* simétricos, con laminación ondulada interna que permite relacionarlos con el retrabajo por la acción de olas. Asociados a la base también se desarrollan 3 a 4 niveles de intraconglomerados con intraclastos pelíticos rojos, muy redondeados, y bioclastos compuestos predominantemente de huesos de reptiles y anfibios.

El Miembro Colonia Orozco también presenta niveles de ortoconglomerados, clasto–sostenidos, de composición oligomíctica. Estas litologías pueden observarse en las proximidades del Arroyo Zapallar, en la Ruta 26 próximo a Bañado Medina y en las proximidades de Molles, en el sector Norte de la Cuchilla Grande (departamento de Cerro Largo). Intraconglomerados con clastos decimétricos de areniscas rojas, bien redondeados, fueron observados en el borde del Alto de Vichadero (departamento de Rivera).

Miembro Cerro Conventos

Este miembro tiene como sección tipo al Cerro Conventos, accidente geográfico ubicado al Noroeste de la ciudad de Melo, a 23 km del empalme de

Ruta 26 con el camino a Molles (Estancia Las Piedras). En este lugar una sucesión potente de areniscas (más de 40 m), predominantemente cuarzosas, de muy buena selección, con estratificaciones horizontales y cruzadas de alto ángulo y gran porte, interpretados como depósitos eólicos duneiformes y de sábana de arena, que integran el tope de la Formación Buena Vista (Lámina II).

En los alrededores del cerro Conventos se observan las relaciones de contacto concordantes (con interdigitaciones) de esta sucesión eólica con las areniscas y pelitas rojas y rojizas que integran la Formación Buena Vista. Se trata de un bloque limitado por fallas normales que está basculado unos 30° hacia el centro de la cuenca. Otro afloramiento del Miembro Cerro Conventos, con características similares al anterior y relacionado a la estructura “Arroyo Chuy”, se ubica a pocos km al Nordeste de la ciudad de Melo, en el Cerro Pesiguero. Aquí, las areniscas blancas maduras con estratificación cruzada de gran porte se apoyan concordantemente sobre las areniscas arcillosas rojas del Miembro Colonia Orozco (Lámina II).

En el subsuelo de la región occidental de la Cuenca Norte, el Miembro Cerro Conventos está muy bien representado por potentes secciones arenosas, cuarzosas, de granos finos a medios, esféricos a muy redondeados, esmerilados, con una alta madurez textural y composicional. A partir de los perfiles eléctricos y radioactivos de los pozos profundos, se constata que las sucesiones arenosas presentan un arreglo agradacional determinados por la superposición de ciclos sedimentarios de 20 a 30 m de potencia, con estratificación que muestra buzamientos relativamente constantes hacia el SSE y con ángulos entre 15° y 20°. En las digrañas, el contacto entre cada ciclo está pautado por una superficie caracterizada por un pico de mayor radioactividad, asociado a la presencia de capas pelíticas rojas laminadas de espesores métricos (interdunas).

Distribución y potencia

El mapa de isópacos de la Formación Buena Vista (Fig. 14) muestra los controles de tipo erosivos y depositacionales, caracterizados por un desarrollo discontinuo e irregular, con zonas de mayor subsidencia y apilamiento sedimentario y áreas denudadas. Las cubetas de diseño alargado que se esbozan en el isopáquico presentan ejes de dirección NW–SE y están flanqueadas por estructuras positivas subparalelas a las anteriores.

Al Norte y Noroeste de Melo, los cuerpos conglomerádicos en general presentan espesores menores que un metro. En esta región de la cuenca,

esta unidad presenta una área aflorante de dirección NE–SW de unos 5 a 15 km de ancho y unos 50 km de longitud, que se extiende a lo largo de toda la Cuchilla Grande, desde el Arroyo Zapallar hasta la Cuchilla de Melo en el departamento de Cerro Largo.

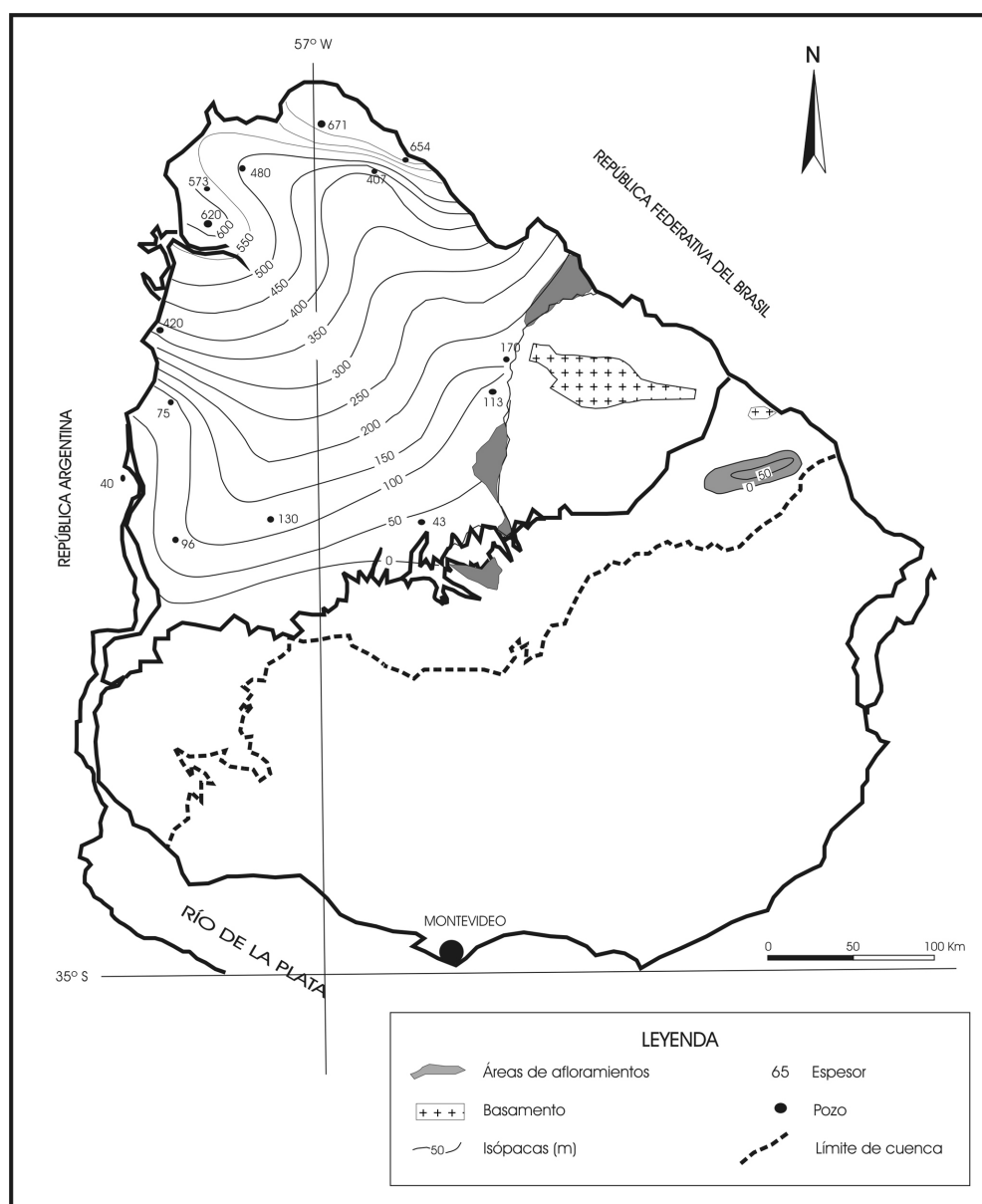


Figura 14 – Mapa de isópacas de la Formación Buena Vista.
(Fuente: de Santa Ana 2004)

El espesor de la Formación Buena Vista en el subsuelo del Noroeste de la cuenca es variable, alcanzando los siguientes valores en los pozos: 671 m en Yacaré (máximo espesor); 573 m en Gaspar; 480 m en Itacumbú; 620 m en Belén; 407 m en Pelado; 654 m en Artigas, y 420 m en Salto. Hacia el Este, la Formación Buena Vista presenta una potencia de 170 m en el pozo Bañado de Rocha; 113 m en Tacuarembó; 43 m en Salsipuedes; 130 m en Guichón; 96 m en Ulleste, y 75 m en el pozo Quebracho. Por su parte, en el pozo Colón de la provincia de Entre Ríos, la potencia de esta unidad sólo alcanzaría los 40 m. En superficie, en el sector Nordeste de la cuenca se reconocen secciones continuas de más de 70 m de potencia.

Relaciones de contacto

Las relaciones estratigráficas de la Formación Buena Vista con las unidades infra y suprayacentes ha sido motivo de controversias. En el sector oriental de la cuenca, las areniscas del Miembro Colonia Orozco presentan contactos graduales con límites con las limolitas y areniscas varicolores del tope de la Formación Yaguarí. Tales relaciones son posibles de observar al Norte de la ciudad de Melo (Ruta 7), particularmente en: la región del Arroyo Zapallar, el camino a la localidad de los Molles y Cruz de Piedra, los alrededores de Nando, Mangrullo y en Colonia Orozco. En el departamento de Rivera, en la localidad de Ataques (Rutas 27 y 28), las areniscas rojizas de la Formación Buena Vista también presenta contactos netos con la Formación Yaguarí.

En los sectores central y Sur de la cuenca, y en el Este del Lineamiento Tacuarembó, los conglomerados polimícticos y areniscas con estratificación cruzada de gran porte que integran las faciologías típicas de la localidad de San Jorge (departamento de Durazno) presentan contactos discordantes con los términos diamictíticos de la Formación San Gregorio.

Situación análoga es la que ocurre en la localidad de San Gregorio de Polanco (a ambos márgenes del Río Negro) y al Sur de la ciudad de Tacuarembó, a pocos kilómetros del camino que va de Ruta 5 al pueblo Clara. En el pozo Tacuarembó, la Formación Buena Vista se apoya en forma discordante con la Formación Frayle Muerto.

En el subsuelo del Noroeste de la cuenca, la Formación Buena Vista se apoya en discordancia sobre la Formación Frayle Muerto en los pozos Gaspar, Artigas, Salto, Pelado, Yacaré, Belén e Itacumbú. Relaciones de

contacto discordantes presenta con la Formación Cerro Pelado en el pozo Quebracho y Colón (Argentina); y con San Gregorio en los pozos Paso Ulleste, Guichón y Salsipuedes.

Paleontología y edad

Esta unidad, hasta hace pocos años, contaba con un escasísimo registro fósil. En el transcurso de los últimos años se han reportado importantes niveles fosilíferos con paleofaunas de tetrápodos continentales en el Nordeste del país (Marsicano *et al.* 2000, Goso *et al.* 2001, Piñeiro 2002, Piñeiro & Ubilla 2003, Piñeiro *et al.* 2003 y Piñeiro *et al.* 2004). Estas paleofaunas incluyen restos de reptiles "pelicosaurios" (vértebras), procolofonoideos (elementos craneanos) y anfibios temnospóndilos (elementos craneanos y post-craneanos) probablemente vinculados con los Rhinesuchidae.

Los vertebrados fósiles hallados sugieren una edad Pérmico Tardío. Cabe mencionar que estas paleofaunas presentan características transicionales entre aquellas del Pérmico y Triásico, por lo que algunos autores contemplaron la posibilidad de que la unidad haya culminado su depositación a inicios del Triásico (Piñeiro 2002, Piñeiro & Ubilla 2003). Sin embargo, a la luz de recientes dataciones radimétricas que arrojaron edades más antiguas para las unidades infrayacentes, esto parece poco probable. Se adopta aquí una edad Pérmico Tardío para la Formación Buena Vista.

Bibliografía

- Andreis RR, Anzotegui LM, Ferrando LA, Herbst R & Mautino LR (1996a): *Litofacies, paleoambientes y paleontología de la Formación Melo (Pérmico Inferior) en Arroyo Seco, Depto. de Rivera, República Oriental del Uruguay: partes I y II*. Ameghiniana 33 (3): 243-264.
- Andreis RR, Ferrando L & Herbst R (1996b): *Terrenos carboníferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay*, pp. 309-343 de Archangelsky S (ed): *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Andreis RR, Ferrando L & Montaña J (1993): *Facies, paleoambientes e cronoestratigrafía no subsolo do setor nordeste da bacia gondwânica uruguaia*, pp. 39-40 de *Simpósio sobre Cronoestratigrafía da Bacia do Paraná, SBG*. Atas 1, Rio Claro.
- Antonlioli L, de Santa Ana H, Dino R & Daners G (2005): *Palinoflora do Permiano Superior da Bacia Norte – Uruguai, (Formação Mangrullo)*. XIX Congresso Brasileiro de Paleontología e VI Congresso Latino-Americano de Paleontología, Resumos, Sección Biocronología – Bioestratigrafía, 3 pp.

- Balistieri P, Guimarães Netto R, Verde M & Goso C (2001): *Comparación entre dos asambleas icnofosilíferas del Permo–Carbonífero en la Cuenca de Paraná (Fm. San Gregorio, Uruguay y Fm. Rio do Sul, Brasil)*. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo de Geología, CD Actas, Montevideo, 1 p.
- Basei M, Rocha Campos A & Nutman AP (2004): *Idade e proveniência de zircões de rochas neopaleozóicas do Brasil: resultados preliminares*. Simposio 40 Anos de Geocronología no Brasil (USP), Boletim de Resumos 9, São Paulo.
- Beltan L (1977): *Découverte d'une ichthyofaune dans le Carbonifère supérieur d'Uruguay. Rapports avec les faunes ichthyologiques contemporaines des autres régions du Gondwana*. Annales de la Société Géologique du Nord, 97: 351-355.
- Beltan L (1981): *Coccocephalithchys tessellatus n.sp. (Pisces, Actinopterygii) from the Upper Carboniferous of Uruguay*. II Congreso Latinoamericano de Paleontología, Porto Alegre, Anais I: 95-106.
- Beltan L (1988): *The paleoichthyofauna from the San Gregorio Formation (Late Carboniferous or Early Permian) of South America*. 7th Gondwana Symposium, Abstracts 39, São Paulo.
- Beri A & Daners G (1995): *Palinología de la Perforación N° 221, Pérmico, R.O. del Uruguay*. Geociências 14(2): 145-160.
- Beri A & Daners G (1996): *Palinomorfos de la perforación Cerro Largo Sur N°4, Pérmico Inferior, Uruguay*. Revista Chilena de Historia Natural, 69: 163-170.
- Beri A & Daners G (1998): *Estudio palinológico de la perforación 201 (Dinamige), Pérmico, Uruguay*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica), 94(1-2): 55-64.
- Beri A & Goso C (1996): *Análisis palinológico y estratigráfico de la Fm. San Gregorio (Pérmico Inferior) en el área de los cerros Guazunambi, Cerro Largo, Uruguay*. Revista Española de Micropaleontología, XXVIII(2): 67-79.
- Beri A & Goso C (1998): *Estudio palinológico y estratigráfico de la Formación San Gregorio en el borde Sureste de la Cuenca Norte Uruguaya*. Revista Universidade Guarulhos, III(6): 108-119.
- Beri A, Daners G & Tejera L (2000): *Palinología de la Formación Tres Islas en la perforación 313/1, Pérmico Inferior, Uruguay*. Revista Universidade Guarulhos, V(6): 71-79.
- Beri A & Pecoits E (2001): *Palinología y sedimentología de la Formación Melo (Pérmico) en la Cañada "El Barón", departamento de Cerro Largo, Uruguay*. Ameghiniana, 38(4): 419-428.
- Bossi J & Ferrando L (2001): *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1:50.000*. Versión CD-Rom, Geoeditores, Montevideo.
- Bossi J & Navarro R (1988): *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, 3ª edición, 2 tomos, Montevideo, pp.1-966.
- Bossi J (1966): *Geología del Uruguay*. Colección Ciencias, n° 2. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, 419 pp.
- Bossi J, Campal N, Civetta L, De Marchi G, Girardi VAV, Mazzucchelli M, Picirillo M, Rivalenti G, Sinigoi S, Texeira W & Fragoso-Cesar AR (1990): *Petrological and geochronological aspects of the Precambrian mafic dikes swarm from Uruguay*. II International Dyke Swarm Symposium UNESCO–IUGS. Proyecto IGP N° 257 C: 309, Adelaide, Australia.
- Bossi J, Ferrando L, Elizalde G, Morales H, Ledesma J, Carballo E, Ford I & Montaña J (1975): *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:1.000.000*. Dirección de Suelos y Fertilizantes (MGAP), Montevideo, 32 pp.

- Braun A, Sprechmann P & Gaucher C (2003): *Stratigraphic age of phosphorite-nodules from San Gregorio Formation of Uruguay*. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, (12): 739-748.
- Caorsi J (1957): *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo.
- Caorsi JH & Goñi JC (1958): *Geología Uruguaya*. Boletín del Instituto Geológico del Uruguay, 37: 1-41.
- Closs D (1967a): *Orthocone cephalopods from the Upper Carboniferous of Argentina and Uruguay*. Ameghiniana, 5(3): 123-129.
- Closs D (1967b): *Upper Carboniferous naptychi from Uruguay*. Ameghiniana, 5(4): 145-148.
- Closs D (1969): *Intercalation of Goniatites in the Gondwana glacial beds of Uruguay*. I International Symposium of Gondwana Geology & Stratigraphy (IUGS–Geol.), 2: 197-212.
- Cox IR (1934): *Lamelibranchios de los estratos Gondwánicos del Uruguay*. Boletín del Instituto Geológico del Uruguay, 21: 3-13.
- Crisafulli A & Lutz A (1995): *Taxopitys uruguaya* Nov. Sp. (Coniferopsida, Taxales) del Pérmico de Uruguay. Ameghiniana, 32(4): 391-399.
- Crisafulli A (2001): *Leños pérmicos de la Formación Yaguari, República Oriental del Uruguay*. Ameghiniana, 38(1): 61-72.
- Crisafulli A (2002): *Contribución a la paleoixiloflora de la Formación Yaguari, Pérmico Superior de Uruguay*. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 4(1): 45-54.
- Crisafulli A (2003): *Nuevos registros de la xilotafoflora de la Formación Yaguari (Pérmico Superior), Uruguay*. XII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología, Resúmenes 29, Buenos Aires
- Daemon RF & Quadros LP (1970): *Bioestratigrafía do Neopaleozóico da Bacia do Paraná*. 24º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Brasília, 359-412.
- Daners G & de Santa Ana H (2003): *Primer registro para Uruguay de Deusilites tenuistriatus Gutiérrez, Césari y Archangelsky (Formación San Gregorio, Cuenca Chacoparanense)*. Ameghiniana, 40(4) suplemento: 20R.
- Daners G, de Santa Ana H & Veroslavsky G (2003): *Paleozoico Superior en la plataforma continental uruguaya: evidencias geológicas y palinológicas*. XII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología, Resúmenes 30, Buenos Aires.
- Daners G, de Santa Ana H & Veroslavsky G (2004): *Nuevos datos palinológicos de la sección basal de la formación San Gregorio en la localidad de Paso de las Bochas (Pérmico inferior, Cuenca Norte, Uruguay)*. IV Congreso Uruguayo de Geología, CD-Rom, Montevideo.
- De Santa Ana H & Gutiérrez L (2000): *Formación Mangrullo (Cuenca Norte, Uruguay): estratigrafía y recursos minerales asociados*. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 7: 2-14.
- De Santa Ana H & Ucha N (1994): *Exploration, perspectives and hidrocarbon potential of the Uruguayan sedimentary basins*. ANCAP (inédito), Montevideo, 90 pp.
- De Santa Ana H & Veroslavsky G (1993): *Cronoestratigrafía de las secuencias paleozoicas de la Cuenca Norte Uruguaya (borde Sureste de la Cuenca de Paraná)*. I Simposio sobre Cronoestratigrafía da Bacia do Paraná, Resúmenes Ampliados, Rio Claro, pp. 41-43.
- De Santa Ana H (1989): *Consideraciones tectónicas y deposicionales de la Cuenca Norte uruguaya*. Boletín Técnico de ARPEL, 18(4): 319-339.
- De Santa Ana H (2004): *Análise Tectono-estratigráfica das Sequências Permtriássica e Jurocretácea da Bacia Chacoparanense Uruguáia ("Cuenca Norte")*. Tese de Doutorado, IGCE–Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil, 274 pp.

- De Santa Ana H, Beri A, Goso C & Daners G (1993): *Análisis estratigráfico de la Formación San Gregorio (Pérmico Inferior) en los testigos del pozo Cerro Largo Sur N° 4 (Dinamige) Uruguay*. Revista Brasileira de Geociências, 23(4) 347-351.
- De Santa Ana H, Rossello E, Fulfaro VJ & Veroslavsky G (2001): *Evidencias de deformación compresiva permotriásica en la Cuenca Norte (Uruguay)*. XI Congreso Latinoamericano de Geología – Congreso Uruguayo de Geología, CD-Rom, Montevideo.
- De Santa Ana H, Ucha N, Couto H, Triunfo G (1982): *Evaluación de Yacimientos de Lutitas Pirobituminosas del Uruguay*. ANCAP (inédito), 12 tomos, Montevideo.
- De Santa Ana H, Veroslavsky G & Goso C (1990): *Reconocimiento de depósitos turbidíticos asociados a la Formación Tres Islas en el área del Cerro de la Valeriana*. Departamento de Cerro Largo. I Congreso Uruguayo de Geología. Resúmenes, Montevideo, 1:19-24
- Díaz Saravia P & Herbst R (2001): *Ostrácodos dulceacuícolas de la Formación Yaguari, Pérmico Superior, R.O. del Uruguay*. Ameghiniana, 38(2): 213-218.
- Dino R (1988): *Análise palinoestratigráfica da Bacia do Paraná-Uruguaí*. Petrobras–Cenpes (Relatorio interno ANCAP), 21 pp.
- Du Toit AL (1927): *A geological comparison of South America with South Africa*. Camegie Inst. Washington, 381(1): 1-157.
- Elizalde G, Eugui W, Verdesio J, Stapff M & Tellechea J (1970): *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:100.000. 3 Segmento Aceguá sector XXX*. Boletín N° 3, Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, pp 1-127.
- Falconer JD (1931): *Memoria Explicativa del mapa geológico de la región sedimentaria del Departamento de Cerro Largo*. Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones, 12: 1-22.
- Falconer JD (1937): *The Gondwana System of north eastern Uruguay with special reference to the Eogondwana beds*. Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones, 23: 1-112.
- Fasolo Z & Vergel MM (1994): *Palinología de la perforación Fraile Muerto (FM 2), Formación Tres Islas (Pérmico Inferior) de la Cuenca Paraná de Uruguay*. Acta Geologica Leopoldensia, 39(2): 679-689.
- Ferrando L & Andreis RR (1986). *Nueva estratigrafía en el Godwana de Uruguay*. I Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos – Arpel, Actas V1, Buenos Aires, pp. 295-322.
- Ferrando L & Andreis RR (1990): *Una nueva localidad de la Formación Melo A° Seco (Depto. de Rivera, Uruguay): litofacies e interpretación paleoambiental preliminar*. Annual Meeting of the Working Group Proyect N° 211, IUGS–UNESCO, pp. 69-71.
- Ferrando L & Montaña J (1987): *Hipótesis preliminar sobre la evolución paleogeográfica de la Cuenca de Paraná en Uruguay*. III Simposio Sul Brasileiro de Geologia, Atas I, Curitiba, pp. 393-400.
- Figueiras A & Broggi J (1968): *Estado actual de nuestros conocimientos sobre los moluscos fósiles del Uruguay. III*. Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay 2(15): 279-313.
- Fulfaro VJ, Saad AR, Santos MV & Viana RB (1982): *Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências, 12(4): 590-610.
- Gallego OF, Herbst R & Ferrando LA (1993): *Cyzicus (E). falconeri n. sp. (Conchostracea) de la Formación Yaguari (Pérmico Superior), Uruguay*. Ameghiniana, 30(1): 17-22.
- Goso C (1995): *Análise estratigráfica da Formação São Gregorio na borda leste da Bacia Norte uruguiaia*. Dissertação de Mestrado (inédito), IGCE–Unesp, Rio Claro, SP, 214 pp.
- Goso C, Piñeiro G, de Santa Ana H, Rojas A, Verde M & Alves C (2001): *Primeros resultados del análisis bio-crono y litoestratigráfico en depósitos Permo–Triásicos? de las formaciones Yaguari y Buena Vista, en el borde oriental de la Cuenca Norte uruguaya*. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo de Geología, Actas, CD-Rom, Montevideo.

- Goso C, Veroslavsky G & de Santa Ana (1996): *Modelo estratigráfico seqüencial da Bacia Norte Uruguaya*. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Salvador, pp. 159-161.
- Goso H & de Santa Ana H (1986): *Evolución tectónica y sedimentaria de la Cuenca Norte uruguaya. Modelo preliminar*. LX RANE 1986, Presente y futuro de la exploración de hidrocarburos en las cuencas latinoamericanas, ARPEL, 30, Lima.
- Guillemain C (1911): *Zur Geologie Uruguays*. Zeitsch. Deutsh. Geol. Ges., Bd. 63, Berlín, pp. 203-220.
- Herbst R (1987): *Studies on Psaroniaceae*. II *Tuvichapteris solmsi* Nov. Gen. et Sp. from the permian of Paraguay and Uruguay. IV Congreso Latinoamericano de Paleontología, I: 267-282.
- Herbst R & Gutiérrez PR (1995): *Cyclodendron andreisii* nov. sp. (Lycopodiopsidaceae, Lycopphyta) del Pérmico Superior de Uruguay. *Ameghiniana*, 32(2): 141-150.
- Herbst R, Ferrando L & Jalfin G (1987a): *Descripción de una flora de Glossopteris de la Formación Melo (Pérmico), Dpto. de Cerro Largo, R.O. del Uruguay*. *Facena*, 7: 67-86.
- Herbst R, Lutz AI, Montaña JR & Ferrando LA (1992): *La tafloflora de Glossopteris del Arroyo del Blanquillo (Dpto. Rivera) del Pérmico Superior (Formación Yaguari) del Uruguay*. *Facena*, 9: 39-75.
- Herbst R, Morton LS & Ferrando LA (1987b): *Los pelecípodos dulceacuícolas del Pérmico superior de Paraguay y Uruguay*. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 18(2): 107-122.
- Kling SA & Reif WE (1969): *The Paleozoic history of amphidisc and hemidisc sponges: new evidence from the Carboniferous of Uruguay*. *Journal of Paleontology*, 43(6): 1429-1434.
- Llambías de Olivar A (1918): *Informe acerca de la investigación geológica efectuada en la República con el Dr. Arrojado Lisboa*. *Boletín Instituto de Geología y Perforaciones*, 3: 20-42.
- Marques-Toigo M (1970): *Anabaculites* nov. gen., a new miospore genus from San Gregorio Formation of Uruguay. *Ameghiniana*, 7(1): 79-82.
- Marques-Toigo M (1973a): *Estudo palinológico de concreções calcárias da Formação San Gregorio, NE da República Oriental del Uruguai – Bacia do Paraná*. *Dissertação de Mestrado* (inérito), Porto Alegre, UFRGS, 109 pp.
- Marques-Toigo M (1973b) : *Ammonoids x pollen and the Carboniferous or Permian age of San Gregorio Formation of Uruguay, Parana Basin*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 44 (supl.): 237-241.
- Marques-Toigo M (1974): *Some new species of spores and pollens of Lower Permian age from the San Gregorio Formation in Uruguay*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 46(3/4): 601-616.
- Marques-Toigo M (1988): *Palynobiostratigraphy of the southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence*. 7º International Gondwana Symposium, São Paulo, pp. 503-516.
- Marsicano CA, Perea D & Ubilla M (2000): *A new temnospondyl amphibian from the lower Triassic of South America*. *Alcheringa*, 24: 119-123.
- Marstrander R (1915): *Informe preliminar sobre las riquezas minerales de la República Oriental del Uruguay*. *Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones*, 2: 1-87.
- Martínez Machiavello JC (1963): *Microesporomorfos tipos contenidos en el glacial de la base del sistema de Gondwana del Uruguay*. *Boletim da Universidade do Paraná, Geología*, 10: 1-15.
- Mautino LR, Anzótégui LM & Vergel MM (1998a): *Palinología de la Formación Melo (Pérmico Inferior) en Arroyo Seco, Departamento Rivera – República Oriental del Uruguay. Parte IV: Esporas*. *Ameghiniana*, 35(1): 67-79.

- Mautino LR, Vergel MM & Anzótegui LM (1998b): *Palinología de la Formación Melo (Pérmico Inferior) en Arroyo Seco, Departamento de Rivera, República Oriental del Uruguay. Parte III: Especies nuevas*. Revista Española de Micropaleontología, 30(3): 107-110.
- Mautino LR, Vergel MM & Anzótegui LM (1998c): *Palinología de la Formación Melo (Pérmico Inferior) en Arroyo Seco, Departamento de Rivera, Uruguay. Parte V: granos de polen, acritarcas e Incertae sedis*. Ameghiniana, 35(3): 299-314
- Milani EJ & Ramos VA (1998): *Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências, 28(4): 473-484.
- Milani EJ (2004): *Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná*, pp. 265-279 de Mantesso-Neto V, Bartorelli A, Ré Carneiro CD & de Brito Neves BB (orgs): *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca Ed., São Paulo.
- Mones A & Figueiras A (1981): *A geo-paleontological synthesis of the Gondwana formations of Uruguay*, pp. 47-52 de Cresswell MM & P Vella (eds): *Gondwana Five: Proceedings of the Fifth International Gondwana Symposium*. AA Balkema, Rotterdam.
- Morton LS & Herbst R (1990): *Leinzia similes (Holdhaus), (Pelecypoda) en el Pérmico Superior (Formación Yaguari) de Uruguay*. Rev. Asoc. Ciencias Naturales del Litoral, 20 pp.
- Petri S & Fulfaró VJ (1988): *Geologia do Brasil*. Edusp, São Paulo, 631 pp.
- Pinto ID, Piñeiro G & Verde M (2000): *First Permian insects from Uruguay*. Pesquisas em Geociências, 27(1): 89-96.
- Piñeiro G (2002): *Paleofaunas del Pérmico–Eotriásico de Uruguay*. Tesis de Maestría, Universidad de la República–PEDECIBA, 208 pp.
- Piñeiro G (2004): *Faunas del Pérmico y Permo–Triásico de Uruguay: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y Sistemática*. Tesis de Doctorado, Universidad de la República–PEDECIBA, 215 pp.
- Piñeiro G & Ubilla M (2003): *Unidades permo–triásicas en la Cuenca Norte: paleontología y ambientes*, pp 33-51 de Veroslavsky G, Ubilla M & Martínez S (eds): *Cuencas sedimentarias de Uruguay. Geología paleontología y recursos naturales – Mesozoico*. DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo.
- Piñeiro G, Beri A & Verde M (1998): *Estudio de una asociación fosilífera de la Formación Mangrullo (Pérmico Tardío) del Uruguay*. Actas del II Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo, pp. 202-204.
- Piñeiro G, Rojas A & Ubilla M (2004): *A new procolophonoid (Reptilia, Parareptilia) from the Upper Permian of Uruguay*. Journal of Vertebrate Paleontology, 24(4): 814-821.
- Piñeiro G, Verde M, Ubilla M & Ferigolo J (2003): *First basal synapsids ("Pelycosaurs") from the Late Permian of Uruguay, South America*. Journal of Paleontology, 77(2): 389-392.
- Preciozzi F, Spoturno J, Heinzen W & Rossi P (1985): *Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a la escala 1:500.000*. DINAMIGE, Montevideo, 90 pp.
- Rey Vercesi D (1933): *Terrenos Gondwánicos del departamento de Rivera*. Boletín Instituto de Geología y Perforaciones, 20: 15 pp.
- Schröder J (1935): *Rocas bituminosas y su explotación química (estudio de algunas muestras de esquistos de Iratí procedentes del departamento de Cerro Largo en la República Oriental del Uruguay y de las posibilidades de su aprovechamiento industrial)*. Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones, 22: 1-256.
- Souza PA & Marques-Toigo (2001): *Zona Vittatina: marco palinobioestratigráfico do Permiano Inferior da Bacia do Paraná*. Ciência-Técnica-Petróleo, 20: 153-159.

- Sprechmann P, Da Silva J, Gaucher C, Montaña J & Herera Z (2001): *Nuevos hallazgos fósiles en concreciones de la Formación San Gregorio del Uruguay e implicancias paleoecológicas y paleoclimáticas*. II Simposio Argentino del Paleozoico Superior, Resúmenes, 28.
- Terra Arocena E (1926): *Nota sobre el piso de Itararé y los sedimentos marinos de Rincón de Alonso*. Instituto Geológico y de Perforaciones del Uruguay, Boletín, 8: 1-20.
- Ucha N, de Santa Ana H, Veroslavsky G (2004): *La Cuenca Punta del Este: geología y potencial hidrocarburiífero*, pp. 173-192 de Veroslavsky G, Ubilla M & Martínez S (eds): *Cuencas sedimentarias de Uruguay. Geología paleontología y recursos naturales – Mesozoico*. DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo.
- Verde M & Piñeiro G (2003): *The fish trace fossil Undichna insolentia Anderson, 1976 in the Mangrullo Member, Melo Formation (Early Permian?), Northeast Uruguay*. Jornadas de la Sociedad Zoológica del Uruguay, Montevideo, 94.
- Veroslavsky G, Daners G & de Santa Ana H (2003): *Rocas sedimentarias pérmicas en la plataforma continental uruguaya: el prerift de la Cuenca de Punta del Este*. Geogaceta, 34: 203-206.
- Walther K (1919): *Líneas fundamentales de la estructura geológica de la República O. del Uruguay*. Boletín del Instituto Geológico y de Perforaciones, 3: 1-186.
- Walther K (1924): *Los resultados de las perforaciones practicadas en el departamento de Cerro Largo en busca de Carbón de Piedra*. Boletín del Instituto Geológico y de Perforaciones, 6: 1-19.
- White IC (1908): *Relatório sobre as Coal Measures e rochas associadas ao Sul do Brasil, Comissão de Estudos de Carvão de Pedra do Brasil*. Rio de Janeiro, tomo 1, 300 pp.
- Ybert JP & Marques-Toigo M (1970): *Polarisaccites* Nov. Gen. Pollen et Spores XII(3): 469-481.
- Zabert LL (1988): *Ostrácodos de agua dulce del Pérmico superior, Formación Yaguari, Uruguay*. VI Panel sobre Geología del Litoral y I Reunión de Geología del Uruguay, Actas, Salto, p. 73.
- Zamuner AB (1996): *Araucarioxylon petriellae n. sp., una posible glossopterid de la Formación Melo (Pérmico inferior), Uruguay*. Ameghiniana, 33(1): 77-94.

Lámina I – *Algunos afloramientos representativos de las formaciones San Gregorio, Cerro Pelado, Tres Islas, Frayle Muerto, Mangrullo y Paso Aguiar, presentes en la Cuenca Norte.*

- A: *Rocas sedimentarias de origen marino de la Formación San Gregorio, depositadas bajo fuerte influencia glaciár (barrancas del Río Negro al final de la Ruta 100, casi frente a San Gregorio de Polanco, en el departamento de Durazno).*
- B: *Estriás de origen glaciár labradas sobre rocas del basamento cristalino y diamictitas de la Formación San Gregorio (Estancia Las Moras, Ruta 7 al Sur de Cerro de las Cuentas, departamento de Cerro Largo).*
- C: *Pelitas grises y negras con delgadas intercalaciones de areniscas finas de la Formación Cerro Pelado en el área tipo (Ruta 26 al Este de Melo, departamento de Cerro Largo).*
- D: *Areniscas y areniscas conglomerádicas con estratificación horizontal y cruzada de mediano porte, de origen fluvio–deltaicas, correspondientes a la Formación Tres Islas (escarpas del Sur de Melo al Este de Ruta 8, departamento de Cerro Largo).*
- E: *Estratos de pelitas grises con intercalaciones de barras arenosas que representan el pasaje entre las formaciones Tres Islas y Frayle Muerto en el cauce del Arroyo Seco (Ruta 27 al Noroeste de Vichadero, departamento de Rivera).*
- F: *Detalle del pasaje de la Formación Mangrullo (calizas y lutitas bituminosas fosilíferas) hacia la Formación Paso Aguiar (pelitas y areniscas grises) en la represa de la Estancia del Barón (cerca de Pueblo Mangrullo, departamento de Cerro Largo).*