

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

TOMO X

1991

Geología N° 97

AMBIENTES Y PROCESOS GENERADORES DE LAS SEDIMENTITAS PORTADORAS DE HIERRO EN LA PLATAFORMA SILURICO-EODEVONICA DE LA PATAGONIA, REPUBLICA ARGENTINA

LUIS A. SPALLETI, CARLOS A. CINGOLANI Y RICARDO VARELA¹

RESUMEN

Las sedimentitas marinas de la Formación Sierra Grande del Silúrico tardío-Devónico temprano del NE de la Patagonia, comprenden arenitas cuarzosas (ortocuarcitas) de grano mediano a grueso, limolitas, cuarzoglomerados y ferrilitas. Basado en la geometría de cuerpos sedimentarios, estructuras mecánicas y biogénicas y también texturas, fueron reconocidas ocho facies sedimentarias agrupadas en cinco asociaciones de facies. Los depósitos estudiados fueron formados por procesos de acumulación en ambientes marinos abiertos, con buen desarrollo de las zonas de plataforma poco profunda dominadas por procesos de olas y tormentas. La mayoría de las facies fue depositada entre la playa y el frente de costa superior. Los sedimentos de mar afuera están representados por facies heterolíticas formadas bajo condiciones alternantes de buen tiempo y tormentas. Las paleocorrientes (óndulas de olas y capas entrecruzadas) sugieren que el rumbo local de la línea de costa fue NE-SO. También muestran que las barras de submarea fueron principalmente inducidas por corrientes longitudinales. Las concentraciones ferríferas fueron favorecidas por ambientes marinos abiertos y de poca profundidad, lento índice de sedimentación, condiciones paleoclimáticas cálidas en las zonas fuentes y un levantamiento general del nivel del mar durante la depositación de la Formación Sierra Grande.

Palabras clave: Sucesiones silicoclásticas - Facies - Hierro sedimentario - Patagonia.

ABSTRACT

ENVIRONMENTS AND FORMING- PROCESSES OF IRON BEARING SEDIMENTS IN THE SILURIAN-EARLY DEVONIAN SHELF OF PATAGONIA, ARGENTINA. Marine strata of the Upper Silurian - Lower Devonian Sierra Grande Formation in northeastern Patagonia (Argentina) comprise silty to very coarse quartzites, siltstones, quartzglomerates and ferrilitas. Based on sediment - body geometries, mechanical and biogenical structures and textures, eight sedimentary facies were recognized and grouped into five facies associations. The studied deposits were formed in a shallow open marine shelf dominated by wave and storm processes. Most (sandstone and conglomerate) facies were deposited between the beach and

(1) Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Calle 1 N° 644, 1900 - La Plata, Argentina.

the upper - shore -face. The offshore deposits are represented by heterolithic facies formed under alternating fair weather and storm conditions. Paleocurrent measurements of directional structures (wave-ripples and cross beds) suggest that the local position of the shoreline was northeast-southwest. They also show that subtidal shad bars were mainly induced by longshore currents. Iron concentration was favoured by open and shallow marine environments, very slow sedimentation rate, warm paleoclimatic conditions in the source areas and a general sea level rise during the deposition of the Sierra Grande Formation.

INTRODUCCION

La cobertura sedimentaria paleozoica del sector oriental del Macizo Norpatagónico, conocida como *Formación Sierra Grande*, ha sido motivo de diversos estudios, especialmente por la importancia económica de sus yacimientos de hierro, actualmente en intensa explotación.

La clara discordancia que separa a esta unidad del Basamento Cristalino, que puede observarse en distintos afloramientos, le confiere además importancia estratigráfica, constituyendo así una cobertura sedimentaria de relevancia geotectónica en el ámbito gondwánico, especialmente por su posible correlación con unidades equivalentes de las Provincias de Buenos Aires y La Pampa, y su extensión a la plataforma uruguaya. Tiene además interés regional, tanto para los modelos de evolución tectónica de posibles aloctonías y colisiones de microplacas continentales (Ramos *et al.*, 1986), como para esquemas paleogeográficos evolutivos continuos (Frutos y Tobar, 1975), entre otros.

Las rocas que componen esta secuencia son esencialmente silicoclásticas, con mantos ferríferos intercalados y con la presencia de restos fósiles asignados al Silúrico-Devónico temprano. Escasas diabasas y manifestaciones tufíticas se intercalan en las unidades sedimentarias.

El objetivo del presente trabajo, como parte del estudio del Macizo Norpatagónico, es brindar un aporte al conocimiento de las facies y asociaciones sedimentarias reconocidas en las secuencias de Sierra Grande y adyacencias.

MARCO GEOLOGICO REGIONAL

En el borde oriental del Macizo Norpatagónico (provincias de Río Negro y Chubut) se exponen saltuariamente terrenos correspondientes al basamento ígneo-metamórfico presilúrico, sobre el que se asienta la cubierta sedimentaria silúrico-devónica que es motivo de este estudio.

Estas unidades han sido intruidas por plutonitas neopaleozoicas conocidas como Granito Pailemán, pertenecientes al Ciclo Eruptivo Gondwánico (Llambías *et al.*, 1984). El cuadro estratigráfico general se completa con la sucesión sedimentaria y volcánico-piroclástica triásico-jurásica (Conglomerado Puesto Pirus y Formación Marifil), y con la extensa aunque poco potente cobertura sedimentaria cretácico-cenozoica (Fig. 1)

CARACTERES GENERALES DE LA FORMACION SIERRA GRANDE

La geología de la comarca de Sierra Grande fue considerada en diversos trabajos. En lo que hace a la formación homónima, cabe mencionar los estudios de Zöllner (1951), de Alba (1954, 1960, 1964), Valvano (1954) y Navarro (1962). Asimismo Klammer (1964), Müller (1965) y Braitsch (1965) publicaron parte de lo realizado por intermedio de la Empresa DEMAG (1963).

Más recientemente se destacan las contribuciones de Gelós (1977) y Avila (1980, 1982). Un estudio específico y exhaustivo sobre la Formación Sierra Grande es el brindado por Zanettini (1981). La extensión de los afloramientos se amplió considerablemente con las correlaciones reconocidas por Methol y Sesana (1972), Cortés (1979, 1981), Proserpio (1978), Sepúlveda (1983), Lizuain (1983), Weber (1983) y Llambías y Rapela (1984).

Una síntesis completa sobre esta cobertura sedimentaria del Macizo Norpatagónico fue realizada por Cortés *et al.* (1984). El lector interesado puede recurrir al mencionado trabajo para el análisis bibliográfico y encontrar los antecedentes correspondientes a la nomenclatura estratigráfica de la unidad aquí tratada, cuya mención original, aunque concisa, pertenece a Harrington (1962).

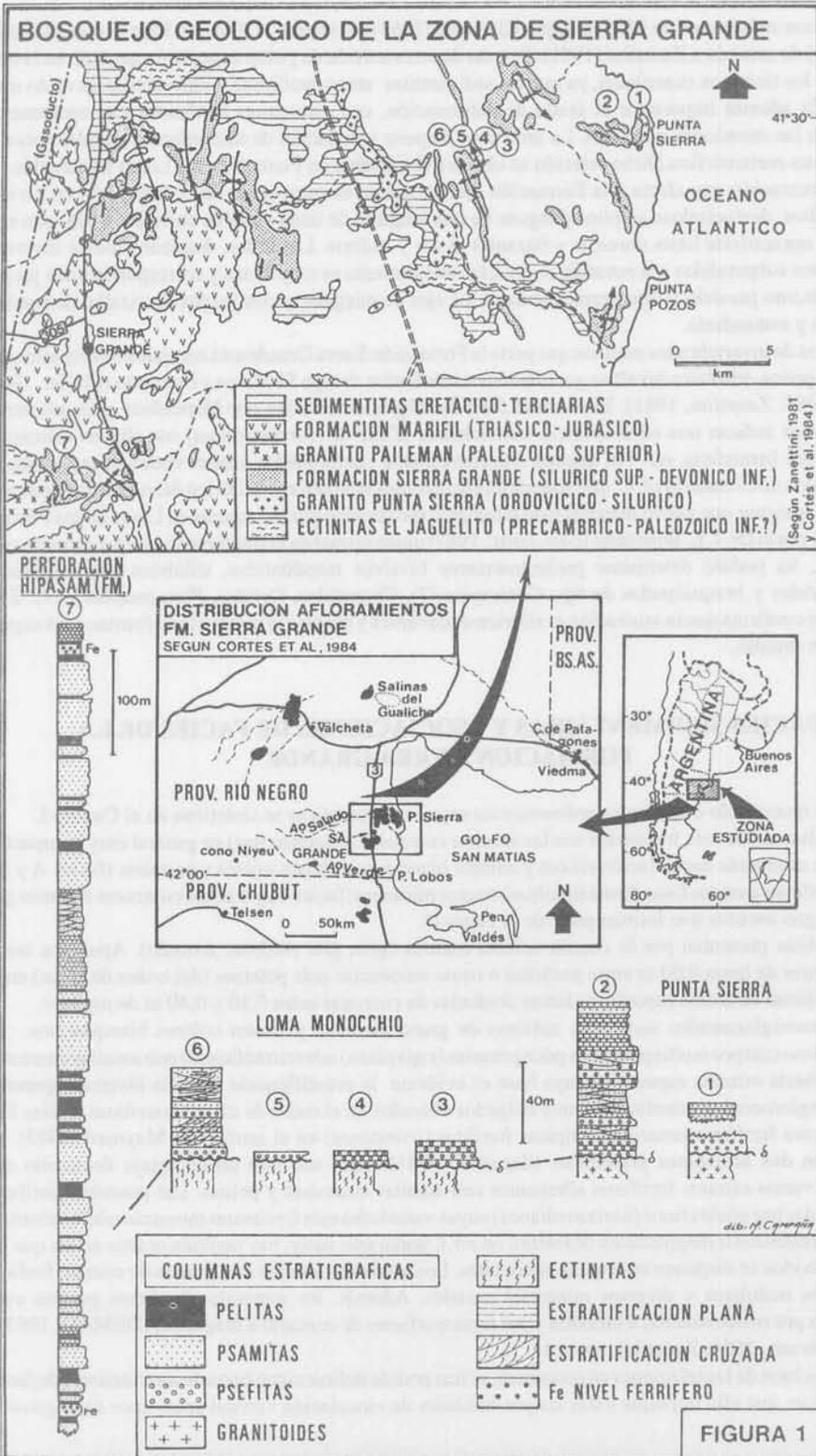


FIG. 1 - Bosquejo geológico de la zona de Sierra Grande.

El espesor máximo es de 1100 m según Klammer (1964) y de hasta 2130 m (en base al conocimiento de subsuelo) de acuerdo a Zanettini (1981). Se trata de una sucesión de pobre exposición general, en la cual se destacan los términos cuarcíticos, ya que las sedimentitas areno-arcillosas y limo-arcillosas están muy cubiertas. Es además importante el grado de deformación, con estructuras tectónicas que oscurecen e interrumpen las sucesiones normales. La unidad se dispone en relación de discordancia angular sobre el sustrato ígneo-metamórfico. Dicha relación se observa claramente en Punta Sierra y Loma Monocchio.

La deformación que afecta a la Formación Sierra Grande es compatible con compresión en niveles corticales altos, destacándose amplios pliegues de una longitud de onda variable entre 2 y 4 km, con ejes tendidos al nornordeste hasta noroeste y buzantes al sur y sudeste. Las fallas, predominantemente inversas, tienen rumbos subparalelos a la estratificación. El diaclasamiento es muy denso y corresponde a dos juegos de extensión, uno paralelo y otro perpendicular a los ejes de pliegues, y dos juegos de cizalla, de rumbos nornordeste y este-sudeste.

La fauna de invertebrados marinos que porta la Formación Sierra Grande está compuesta esencialmente por braquiópodos, trilobites, bivalvos, gastrópodos e icnofósiles de tipo *Skolithos* y *Cruziana* (Müller, 1965, Braitsch, 1965; Zanettini, 1981). El material fósil fue objeto de revisión por Manceñido y Damborenea (1984) quienes indican una edad silúrica, wenlockiana, (Zona de *Harringtonina*) con típicos elementos endémicos del hemisferio sur. No quedan fehacientemente comprobadas edades eodevónicas, como lo sugieren restos de *Conularia* cf. *C. quichua*, ahora encontrados también en el silúrico del noroeste argentino.

Cabe consignar que nuevo material paleontológico recolectado por los autores en Loma de los Fósiles, fue revisado por el Dr. J. L. Benedetto (com. epist., 1987) quien a pesar de lo fragmentario de los especímenes disponibles, ha podido determinar preliminarmente bivalvos taxodóntidos, trilobites dalmanítidos y odontopléuridos y braquiópodos de tipo *Coelospira* (?), Chonetidae, Ortidos, *Phragmaphora* (?). Este investigador confirma que la asociación es silúrico-eodevónica y destaca la presencia de formas nuevas para la unidad en estudio.

FACIES SEDIMENTARIAS Y ASOCIACIONES DE FACIES DE LA FORMACION SIERRA GRANDE

Se han reconocido ocho *facies sedimentarias* cuyas características se sintetizan en el Cuadro I.

Las sedimentitas más frecuentes son las arenitas cuarzosas (ortocuarzitas) en general muy compactas, con fuerte a moderada cementación silíceas y colores blanquecinos hasta rojizos y castaños (facies A y B). Se les subordinan arenitas finas (hasta limolitas) cuarzo micáceas (facies C) y wackes cuarzosas de tonos gris verdosos y gris oscuros que forman parte de las facies D.

Las pelitas presentan por lo común colores oscuros (gris, gris verdoso, morado). Aparecen como intercalaciones de hasta 0,60 m entre psamitas o como secuencias más potentes (del orden de 10 m) entre las que se ubican en forma esporádica lentes abultadas de cuarzitas entre 0,10 y 0,40 m de espesor.

Los cuarzoglomerados son como máximo de grano mediano y tienen colores blanquecinos. Se muestran como cuerpos multiepisódicos poco potentes (capa plana) interestratificados con arenitas cuarzosas (facies G), hasta estratos espesos en cuya base es evidente la estratificación gradada inversa. Aparecen también conglomerados mantiformes muy delgados ubicados en el techo de capas cuarcíticas (facies H).

Las facies ferríferas constituyen típicas ferrilitas (*ironstones*) en el sentido de Maynard (1983). Se presentan en dos horizontes principales (Zanettini, 1981), cada uno con un complejo desarrollo que comprende varios estratos ferríferos alternantes con arenitas cuarzosas y pelitas. Las psamitas ferríferas están formadas por ooides finos (hasta medianos) cuyas variedades más frecuentes muestran núcleo clorítico y bordes hematíticos o magnetíticos (Zanettini *op.cit.*); según este autor, hay también oolitas en las que los silicatos y óxidos se disponen en capas alternantes. Los ooides se asocian con granos de cuarzo, fosfatos y carbonatos nodulares y diversos minerales pesados. Además, los minerales ferríferos pueden estar modificados por meteorización a limonita y por metamorfismo de contacto a magnetita (DEMAG, 1963) o martita (Valvano, 1954; Zanettini, *op.cit.*).

Sobre la base de las relaciones en secuencia, se han podido definir cinco tipos de *asociaciones de facies* (cuadro 2), sin que ello implique todas las posibilidades de vinculación vertical entre tipos litológicos.

TABLA I - Caracteres de las facies sedimentarias de la Formación Sierra Grande.

FACIES	LITOLOGIA	GRANULOMETRIA	FORMA DE LOS CUERPOS	ESPESOR DE ESTRATOS	ESTRUCTURAS MECANICAS	ESTRUCTURAS BIOGENICAS	OTROS RASGOS
A	Arenita cuarzosa	Mediana a gruesa (hasta sabulfítica)	Lentiforme continua (techo abultado) y tabular. Escasos cuerpos acanalados.	Entre 0,2 y 0,8 m (hasta 1 m)	Macizos. Entrecruzada planar a tangencial. Subordinados en artesa.	Abundante bioturbación vertical (icnofacies de Skolithos) en algunas secciones	Algunos cristales de arena.
B	Arenita cuarzosa	Fina a sabulfítica	Lentiforme	Entre 0,2 y 0,5 m.	Estratificación plana, hasta lajosa. Capas de textura fina con lineación <i>parting</i> .	_____	Algunos cristales de arena
C	Arenita cuarzo micácea	Fina hasta limolita	Tabular hasta lenticular	0,05 a 0,30 m	Ondulas escalonadas, desde simétricas a combinadas de flujo (poco asimétricas)	_____	_____
D	Heterolítica (wacke cuarzosa o arenita cuarzosa con pelita)	Wackes y arenitas finas a muy finas. Interstratificación con fangolitas y lutitas micáceas.	Tabular	Cada término es muy delgado, hasta 0,1 m	Laminación delgada hasta ondulosa (<i>wavy</i>)	Puede incluir fósiles. Diversas bioturbaciones horizontales (icnofacies de Cruziana).	_____
E	Pelita	Fangolita y arcilita (a veces ferruginosas)	Tabular	Paquetes de hasta 0,8 m	Fisilidad, lajosidad. Laminación horizontal hasta ondulítica	Puede incluir fósiles.	_____
F	Ferrilita	Psamita ferrífera fina a mediana	Tabular	Capas entre 0,4 y 0,9 m.	Macizos	_____	_____
G	Cuarzoglomerado	Psefita fina a mediana (hasta 60mm)	Tabular a lentiforme continua. Sin acanalamiento	Entre 0,1 y 0,4 m. Algunos cuerpos hasta 3 m.	Macizos. Los más potentes con estructura gradada inversa en la base.	_____	Niveles sabulfíticos o conglomerádicos finos con fenoclastos dispersos de hasta 60 mm.
H	Cuarzoglomerado.	Psefita fina a mediana.	Mantiforme	0,03 a 0,1 m	Macizos	_____	Coronan el techo de estratos psamíticos.

CUADRO 2 - Principales asociaciones de facies sedimentarias de la Formación Sierra Grande
Asociación

- 1 Conglomerádico-arenítica (facies A y G). Incluye cuerpos multiepisdicos de cuarzoglomerados (facies G).
- 2 Arenitas cuarzosas lentiformes macizas y/o entrecruzadas (facies A) en cuerpos multiepisdicos. Eventuales conglomerados mantiformes en el techo de estratos psamíticos (facies H).
- 3 Arenitas cuarzosas lentiformes en cuerpos multiepisdicos con intercalaciones de arenitas en estratos planos y arenitas cuarzo micáceas ondulticas (facies A, B y C). Abundantes bioturbaciones verticales (icnofacies de *Skolithos*).
- 4 Secuencias granodecrescentes de arenitas macizas o entrecruzadas, con estratificación plana y con óndulas escalonadas (facies A, B y C).
- 5 Secuencias heterolíticas hasta pelíticas, asociadas con niveles ferrilíticos (facies D y F). También asociadas con intercalaciones lenticulares aisladas de arenitas cuarzosas (facies D y A).

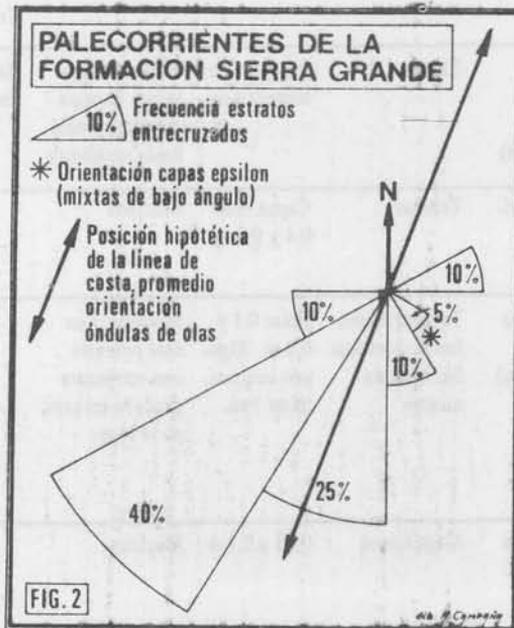
AMBIENTE DE DEPOSITACION

Las silicoclastitas de la Formación Sierra Grande se han interpretado como depósitos de ambiente marino (de Alba, 1964; Müller, 1965; Núñez *et al.*, 1975), de región sublitoral a litoral (Cortés, 1981) o costero de moderada a baja energía (Zanettini, 1981). Además, Cortés *et al.*, (1984) han inferido temperaturas templado-cálidas de las aguas, propias de una región tropical a subtropical.

El análisis intrínseco de la información sedimentológica nos ha permitido hacer algunas consideraciones con respecto a los ambientes y las condiciones físicas sobre agentes de transporte y deposición.

a) Análisis de las paleocorrientes

Las paleocorrientes se han determinado a partir de estructuras mecánicas: óndulas de olas (simétricas y asimétricas), estratos entrecruzados planares a tangenciales y capas mixtas con inclinación de bajo ángulo (estratificación épsilon). Los resultados obtenidos se sintetizan en la Fig. 2.


FIG. 2 - Paleocorrientes de la Formación Sierra Grande

La orientación de las crestas de óndulas de olas es bastante consistente en el rumbo NNE-SSO. En términos generales, puede inferirse que reflejan la posición (local) de la línea de costa, dado que la orientación media de las olas bajo flujos oscilatorios es cercanamente paralela a la zona litoral. Las óndulas han sido halladas en determinados niveles de algunas secciones estratigráficas (Herrada, Loma Alfaro) y por lo tanto no es posible saber si la eventual posición de la línea de costa ha experimentado variaciones durante la depositación de la unidad.

Los estratos entrecruzados muestran marcada orientación preferencial al sudoeste y sud-sudoeste (65 % de los datos, 13 determinaciones, Fig. 2) coincidente con la posición de la línea de costa local. Ello permite suponer que la mayoría de estas estructuras se ha formado por corrientes paralelas a la costa.

En forma subordinada se aprecian entrecruzamientos contrapuestos, hacia el este y el oeste, que pueden en forma tentativa atribuirse a corrientes de marea transversales a la costa local.

Vale agregar que se encontró un cuerpo mixto areno-pelítico, entrecruzado con muy bajo ángulo, orientado al sudeste; según nuestro criterio representa un claro ejemplo de acreción lateral en un pequeño canal o estrecho (*inlet*) de mareas.

b) Interpretación de las facies silicoclásticas

Sobre la base de sus propios atributos (cuadro 1) y con el auxilio de los datos de paleocorrientes, se pueden hacer diversas inferencias con respecto a los procesos de depositación de las facies sedimentarias.

Es así que los cuerpos de la facies A con estratificación entrecruzada representan a megaóndulas bidimensionales u ondas de arenas (capas frontales espesas y de geometría planar) con tendencia tridimensional (por la morfología lentiforme de los cuerpos). Estratos entrecruzados de mayor régimen de flujo, con estructuras en artesa, aparecen en forma subordinada.

Esta facies tiene similar desarrollo en áreas intermareales poco profundas y en submareales; inclusive ha sido hallada a profundidades del orden de los 200 m, en el borde de las plataformas continentales. Con todo, es obvio que resulta típica de regiones poco profundas (de menos de 25 m, c.f. Niedoroda *et al.*, 1984) ubicadas por encima de la base de olas de buen tiempo (olas de oscilación poco profundas) o de la plataforma interior. En dichas regiones los estratos entrecruzados pueden aparecer en la zona de playa, en la de desplazamiento (*surf*) y en el frente de costa superior (*upper shoreface*) (Heron *et al.*, 1984).

Si bien los estratos entrecruzados pueden corresponder a rasgos muy diversos desarrollados en las mencionadas regiones (berma, barras de submarea, megaóndulas lunadas, canales de retorno, etcétera) (Cf. Clifton, 1976; Short, 1984), la orientación paralela a la costa inferida para las paleocorrientes nos induce a suponer que han sido esencialmente originadas por corrientes longitudinales (Shipp, 1984; McCubbin, 1982; Spalletti, 1987) o bien por flujos oceánicos costeros de la zona de frente de costa superior (Niedoroda *et al.*, 1984).

Las sedimentitas de grano grueso con desarrollo de capas planas son, en el contexto paleoambiental, el producto de flujos oscilatorios fuertemente asimétricos que actuaron en la parte menos profunda de la región de costa (o nearshore) (Davidson-Arnott y Greenwood, 1976; Clifton, 1976; Allen, 1980; Shipp, 1984). Así, las facies B y G son interpretadas como depósitos de alto régimen de flujo en la zona de lavado o de playa (Clifton *et al.*, 1971; Carter, 1975; Howard y Reineck, 1979). No obstante, vale destacar que capas planas de textura fina y con lineación *parting* pueden aparecer también en zonas algo más profundas, bajo la influencia de corrientes oscilatorias (Craft y Bridge, 1987); de este modo, cuando las capas laminares se asocian con niveles ondulíticos, se las asigna al subambiente de frente de costa inferior (*lower shoreface*) (McCubbin, 1982).

Por su parte, la facies de areniscas cuarzo micáceas ondulíticas muestra el desarrollo de estructuras escalonadas simétricas (flujo oscilatorio) a levemente asimétricas (combinadas de flujo), por lo que provee uno de los principales criterios para definir la acción de olas (Cf. Harms *et al.*, 1982; Spalletti, 1987; Craft y Bridge, 1987). Además representan a típicos depósitos con importante acreción vertical del frente de costa inferior (Cf. Clifton, 1976). La persistente orientación NNE-SSO de las crestas permite inferir ese arrumbamiento general para la línea de costa.

Los niveles heterolíticos son bastante raros en los modelos de mar abierto. De acuerdo a los datos de Terwindt (1975) se supone que estos sedimentos se han depositado en áreas de energía cinética variable de moderada a baja. Por los tipos litológicos intervinientes y las tonalidades oscuras (Cf. Shipp, 1984) se infiere que corresponden a la zona límite entre el frente de costa inferior y la plataforma interior, es decir donde se inicia la influencia de la base de olas de buen tiempo. Su formación se atribuye a flujos oscilatorios

esencialmente simétricos (Shipp, *op.cit.*; Davidson-Arnott y Greenwood, 1976).

Los términos pelíticos son depósitos producidos por decantación en áreas de baja energía y corresponden a las comúnmente denominadas arcillas de mar afuera (*offshore clays*). Los ambientes de depositación pueden ser tanto de plataforma interior como exterior, aunque la presencia de algunas estructuras de flujo oscilatorio y la intercalación de niveles psamíticos (véase más adelante) nos inducen a suponer zonas con profundidades inferiores a los 200 m. Cabe también la posibilidad de atribuir las acumulaciones de grano fino a áreas parcialmente protegidas, como bahías, dada la presencia de bioturbaciones y estructuras ondulíticas. Se descarta, por otra parte, la sedimentación en ambientes inter a supramareales (planicies de mareas, estuarios) por la falta sistemática de rasgos de exposición subaérea.

En otro orden, debe mencionarse la existencia de diversos atributos que confirman la acción de olas. Entre psefitas, los cuerpos potentes con moderada selección (fenoclastos dispersos) y estructura gradada inversa en la base, representan fenómenos de intensa remoción y alto efecto dispersivo; se asocian por ende con rompientes en las que se produce gran disipación de energía cinética. Asimismo, los conglomerados mantiformes de la facies H han sido atribuidos a procesos de retrabajo de olas de tormenta sobre barras arenosas (Cf. del Valle, 1987; Spalletti y del Valle, 1987). Finalmente, las intercalaciones lenticulares de cuarcitas en secuencias pelíticas y heterolíticas representan acumulaciones gruesas de *offshore* que se atribuyen a olas de tormentas (Swift y Freeland, 1978; Swift *et al.*, 1979; Shipp, 1984).

Con respecto a las bioturbaciones, la icnofacies de *Skolithos* refleja ambientes marinos poco profundos, desde intermareales (playa) a submareales (frente de costa) (Seilacher, 1967; Carter, 1975). En nuestro caso, los niveles intensamente bioturbados de arenitas cuarzosas (véase Fot. 1) pueden corresponder a un ambiente de frente de costa inferior (Heron *et al.*, 1984) afectado por corrientes de energía superior a la normal (eventos de tormentas para Craft y Bridge, 1987).

En cambio, la icnofacies de *Cruziana* es -para la Formación Sierra Grande- más típica de los depósitos formados por procesos de acumulación lenta en la plataforma, en los que se favorece el desarrollo de comunidades infaunales (Crimes, 1975; Craft y Bridge, *op.cit.*).

c) Génesis de las facies ferríferas

Las ferrilitas son típicas de secuencias clásticas cercanas a la línea de costa (Cf. Maynard, 1983). En este contexto, existen diversas interpretaciones sobre los paleoambientes en los que pudieron generarse las concentraciones de hierro, tales como complejos de barreras- planicie de mareas (Maynard, 1983); regiones intermareales a submareales poco profundas en asociación lateral hacia carbonatos de plataforma (Hunter, 1970) y también altofondos en regiones de *offshore* (Hallam, 1975).

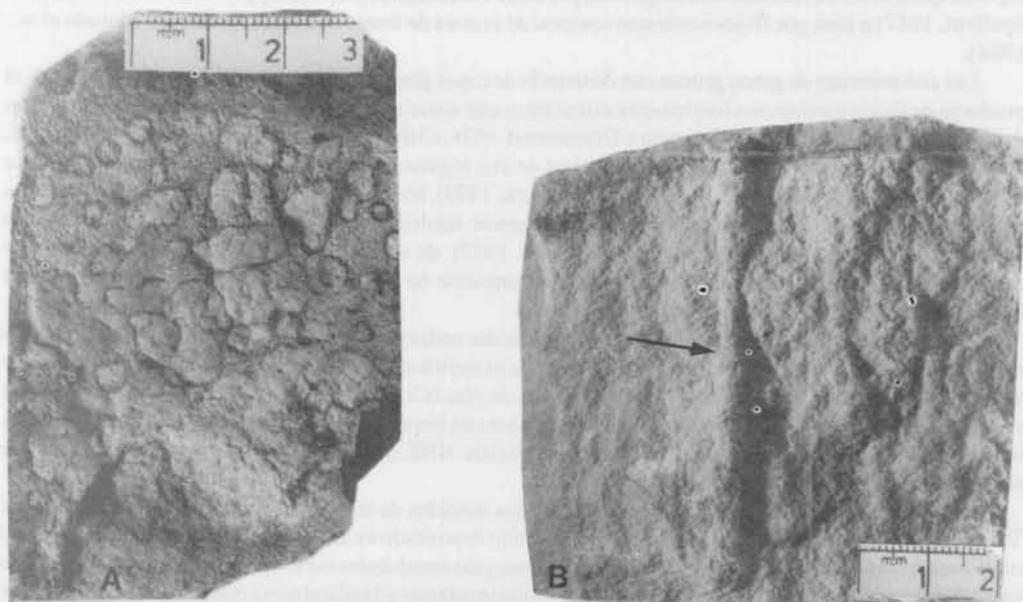


FOTO 1 - *Skolithos*, vista en planta (A) y en perfil (B).

En un reciente trabajo, Teyssen (1984) describe concentraciones de ooides goethíticos-chamosíticos asociados a facies costeras no restringidas compuestas por arenitas entrecruzadas submareales (ondas de arena inducidas por mareas) y fangolitas bioturbadas de *offshore*.

En nuestro caso, dado el patrón general de depositación de la Formación Sierra Grande así como las asociaciones de facies en las que aparecen las ferrilitas, se habría dado una situación similar, aunque con dos importantes peculiaridades: a) en lugar de dominio mareal, la unidad se desarrolló bajo la influencia de olas y mareas, y b) los concentrados de ooides ferríferos tienden a asociarse con facies algo más profundas, de frente de costa inferior a plataforma interior.

Con respecto a los depósitos ferríferos en la Formación Sierra Grande Zanettini (1981) y también Cortés *et al.*, (1984)- infieren un relieve bajo en las áreas de procedencia e intensa meteorización bajo clima húmedo y cálido. Suponen al hierro transportado como coloide o en agregados orgánicos, y precipitado en la cuenca marina a pH 7-7,8 y Eh positivo (algo negativo cuando se trata de magnetita y fosfatos). Agregan que la cuenca tuvo circulación restringida, aportes de aguas dulces y temperaturas templadas. Además, Cortés *et al.* (*op.cit.*) consideran que la precipitación de hierro se vio favorecida por oxidación (y evaporación), ya que atribuyen una importante fuente de aportes a corrientes de surgimiento (*upwelling*) desde regiones anóxicas profundas.

En nuestra opinión sólo encontramos algunas coincidencias con las ideas de los autores mencionados, en especial en lo que hace a condiciones paleoclimáticas cálidas y escasos desniveles en las áreas continentales.

Respecto de la procedencia del hierro se considera aquí que ha derivado de áreas continentales, ya que resulta bastante difícil explicar la eficacia de la surgencia (*upwelling*) en un ámbito de plataforma tan extensa como el de la Formación Sierra Grande. Si bien es aceptable el transporte en forma coloidal, no se descarta que algunos ooides (férricos) hayan sido movilizados como clastos derivados de la erosión de latosoles (Siehl y Thein, 1978; Teyssen, 1984).

En lo que hace a la formación de los concentrados de hierro, debe tenerse en cuenta a los siguientes factores:

- a) Ambiente en general poco profundo (Maynard, 1983) de frente de costa a plataforma interior.
- b) Existencia de un ámbito de plataforma abierta, tal como el inferido por Hallam (1975) y Teyssen (1984); es decir que no se requerirían zonas de depositación restringidas o mares parcialmente cerrados.
- c) Aguas poco agitadas para la formación de ooides chamosíticos (cloríticos según Zanettini, *op.cit.*) (Maynard, *op.cit.*); condiciones algo más agitadas para los hematíticos, ya que se favorece el lavado de las arcillas (Schellmann, 1969). Ooides mixtos reflejarían condiciones con variación cíclica de la energía.
- d) Probable reconcentración de ooides de distinta composición (chamosíticos, mixtos, hematíticos) por acción de corrientes de moderada energía y cíclicas en la zona límite entre la plataforma interior y el frente de costa.
- e) Lento ritmo de sedimentación, del orden de 10 a 30 cm cada 1000 años, según Kukul (1971), el que favorece la oxigenación superficial del fondo marino y la concentración de hierro. La asociación de facies es un claro reflejo del bajo ritmo de acumulación.
- f) Como señalara Teyssen (*op.cit.*) la formación de los niveles ferrilíticos parece relacionarse con pulsos transgresivos, los que -según nuestra opinión- favorecerían la captación de material ferruginoso de perfiles de meteorización continentales, provocarían disminución de la velocidad de sedimentación, incrementos de profundidad y correlativa merma de la energía dinámica. Dichas condiciones habrían inhibido el desarrollo de facies silicoclásticas de *nearshore* y beneficiado la generación y concentración de los ooides ferrilíticos.

FORMACION SIERRA GRANDE: ¿ AMBIENTE DE PLATAFORMA DOMINADO POR OLAS O POR MAREAS ?

En general, para las zonas menos profundas de los ambientes marinos se reconocen tres situaciones: con dominio de olas (normales y de tormentas), con dominio de mareas, y con acción combinada de olas y mareas (Cf. Davis y Hayes, 1984; Johnson y Baldwin, 1986; Spalletti y del Valle, 1987).

Si bien la acción de olas y mareas está presente en la mayoría de los ambientes costeros, el dominio de

uno u otro proceso está fundado en los niveles relativos de energía. Las olas ven favorecida su acción cuando se elevan el período y la altura. Entre tanto, las mareas son más efectivas en condiciones macromareales (Hayes, 1975). No obstante, una costa puede ser, por ejemplo, macromareal y estar dominada por olas, si es que la energía de estas últimas supera a las de las mareas (Davis y Hayes, 1984).

CUADRO 3 - Evidencias sobre acción de olas y de mareas.

Acción de Olas	Acción de mareas
Predominio de óndulas de olas sobre óndulas de corrientes.	Presencia de secuencias granodecrecientes de tipo B-C de Klein.
Orientación de estratos entrecruzados perpendiculares a la de óndulas de olas (corrientes longitudinales o costeras).	Facies heterolíticas.
Escaso a nulo desarrollo de canales.	Niveles de acreción lateral de bajo ángulo definidos por alternancia de capas arenosas y pelíticas (canal de estrecho de marea; Walker y Harms, 1975).
Desarrollo parcial de estratos entrecruzados de alto ángulo.	Niveles (escasos) con <i>cosets</i> entrecruzados de orientación contrapuesta y perpendicular a la línea de costa inferida.
Orientaciones constantes de capas frontales en <i>sets</i> contiguos. Falta de tapices de arcilla (<i>clay drapes</i>). Escasas a nulas superficies de reactivación en capas entrecruzadas.	
Conglomerados mantiformes del techo de cuerpos arenosos (retrabajo de olas).	
Pelitas sin evidencias de exposición subárea.	
Lentes aislados de cuarcitas en secuencias de grano fino (eventos de tormenta).	

En el cuadro 3 se ha tratado de sintetizar los principales caracteres de las sedimentitas en cuanto a su potencial empleo para la definición de condiciones mareales y de oleaje (Walker y Harms, 1975; Klein, 1975 a y b; Barnes y Klein, 1975; McCubbin, 1982; Graham, 1982; Spalletti y del Valle, 1987). El cuadro revela predominio de las evidencias vinculadas con el oleaje, aunque también hay rasgos que denotan depositación por mareas.

Tomados en forma global, los depósitos de la Formación Sierra Grande sugieren procesos de acumulación en ambientes marinos abiertos, con buen desarrollo de las zonas poco profundas (playa-*surf* y frente de costa). No hay mayores evidencias de áreas con sedimentación restringida, como albuferas, planicies de marea o estuarios. La escasez de estos paleoambientes es coherente con el pobre desarrollo de las facies de estrecho de mareas (*inlets*) que se han inhibido por la acción dominante de las olas (McCubbin, 1982).

En este contexto, las asociaciones de facies pueden interpretarse de la siguiente manera:

- Asociación 1: depósitos de playa hasta parte superior de la zona de desplazamiento (*o surf*).
- Asociación 2: depósitos de barras de submarea inducidas por corrientes longitudinales, costaneras o de mareas, con parcial retrabajo de olas de tormenta. Zona de playa hasta frente de costa superior.
- Asociación 3: similar a la anterior, pero con transiciones a la zona de frente de costa inferior afectado por tormentas.
- Asociación 4: depósitos de barra de submarea. Probablemente inducidos por corrientes de marea y retrabajados por olas normales.
- Asociación 5: depósitos de *offshore* (probablemente plataforma interior) con superposición de la acción de olas de tormentas.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J.R.L., 1980. Sandwaves: a model of origin and internal structure. *Mar. Geol.*, 26: 281-328.
- AVILA, J.C., 1980. Estructura geológica del Yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Acta*

Geológica Lilloana XV (2): 85-102, Tucumán.

- AVILA, J.C., 1982. Problemas geológicos estructurales en la explotación minera de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Rev. del Inst. de Cs. Geol.*, 5:141-169, Jujuy.
- BARNES, J.J. y KLEIN, G. de V. 1975. Tidal deposits in the Zabriskie Quartzite (Cambrian) eastern California and western Nevada. En Ginsburg, R.N. (Ed.) Tidal deposits: 163-169. Springer, Berlin.
- BRAITSCHE, O., 1965. Das paläozoikum von Sierra Grande (prov. Río Negro, Argentinien) und die altkaledonische faltung in ostlichen Andesvorland. *Geol. Rundschau*, 54 (2): 698-714.
- CARTER, Ch.H., 1975. Miocene-Pliocene beach and tidal deposits, southern New Jersey. En Ginsburg, R.N. (Ed.) Tidal deposits: 109-116, Springer, Berlín.
- CLIFTON, E., 1976. Wave formed sedimentary structures- a conceptual model. En Davis Jr. R.A. y Ethington, R.L. (Eds.) *Soc. Econ. Pal. Min. Spec. Publ.* 24:126-148. Tulsa.
- CLIFTON, H.E.; HUNTER, R.E.; y PHILLIPS, R.L., Depositional structures and processes in the non-barred, high energy nearshore. *Jour. Sed. Petrol.* 41:651-670.
- CORTES, J.M., 1979. Primeros afloramientos de la Formación Sierra Grande en la provincia del Chubut. *VII Congr. Geol. Arg., Actas I*: 481-487, Buenos Aires.
- CORTES, J.M., 1981. El substrato precretácico del extremo noreste de la provincia del Chubut. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, XXXVI (3):217-235. Buenos Aires.
- CORTES, J.M.; CAMINOS, R. y LEANZA, H., 1984. La cobertura sedimentaria eopaleozoica. *IX Congr. Geol. Arg.*, (S.C. Bariloche), Relatorio I (3): 65-84.
- CRAFT, J.H.; y BRIDGE, J.S., 1987. Shallow-marine sedimentary processes in the Late Devonian Catskill sea, New York State. *Geol. Soc. Am. Bull.* 98: 338-355.
- CRIMES, T.P., 1975. The stratigraphical significance of trace fossils. En Frey, R.W. (Ed.). The study of trace fossils: 109-130. Springer N. York.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. y GREENWOOD, B., 1976. Facies relationships on a barred coast, Kouchibouguac Bay, New Brunswick, Canadá. En Davis Jr., R.A. y Ethington, R. L. (Eds.) *Soc. Econ. Pal. Min. Spec. Publ.* 24: 149-168. Tulsa.
- DAVIS, Jr. R.A. y HAYES, M.O., 1984. What is wave-dominated coast? En Greenwood, B. y Davis Jr. R.A. (Eds.). *Devel. Sedim.* 39: 313-329. Elsevier, Amsterdam.
- DE ALBA, E., 1954. Nota sobre la estratigrafía de Sierra Grande, Territorio Nacional de Río Negro. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, IX (2):131-134. Buenos Aires.
- DE ALBA, E., 1960. Acerca de la estructura geológica en Sierra Grande y su aplicación económica, Río Negro. *I Jorn. Geol. Arg., Anales*, II: 53-64, Buenos Aires.
- DE ALBA, E., 1964. Descripción geológica de la Hoja 41 J, Sierra Grande Provincia de Río Negro. *Dir. Nac. de Geol. y Min.*, Boletín N° 97, Buenos Aires.
- DEL VALLE, A., 1987. Sedimentología de la Formación Balcarce en el sector oriental de Tandilia. Tesis Doct. Museo La Plata (inéd.): 278 p.
- DEMAG, 1963. Estudio geológico de los yacimientos Norte, Sur y Este de Sierra Grande, Río Negro. HIPASAM, informe inédito, Buenos Aires.
- FRUTOS, J., y TOBAR, A., 1975. Evolution of the Southwestern Continental margin of South America. In: K.S. Campbell (Ed.). *Third International Gondwana Symposium*, 565-577. Canberra.
- GELOS, E.M., 1977. Metamorfismo de contacto en el yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, XXXII (2): 99-110.
- GRAHAM, J. R., 1982. Wave dominated shallow-marine sediments in the Lower Carboniferous of Morocco. *Jour. Sedim. Petrol.* 52: 1271-1276.
- HALLAM, A., 1975. Jurassic environments. Cambridge Univ. Press.:269 p. Cambridge.
- HARMS, J.C.; SONTARD, J.B.; WALKER, R.G., 1982. Structures and sequences in clastic rocks. SEPM, Lect. Notes Course 9, Tulsa.
- HARRINGTON, H.J., 1962. Paleogeographic development of South America. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 46(10): 1773-1814. Tulsa.
- HAYES, M.O., 1975. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. En Cronin, L.E. (Ed.). *Estuarine Research II*: 3-22. Acad. Press. Londres.
- HERON, S.D. Jr.; MOSLOW, T.F.; BERELSON, W.M.; HERBERT, J.R.; STEELE, F.A. y SWANSON, K.R., 1984. Holocene sedimentation of a wave dominated barrier-island shoreline: Cape Lookout, North Carolina. En Greenwood, B. y Davis, Jr. R.A. (Ed.) *Devel. Sedim.* 39: 413-434. Elsevier.

- HOWARD, J.D.; y REINECK, H.E., 1979. Sedimentary structures of "high energy" beach-to-offshore sequence: Ventura-Port Huenemo area, California (abst.). *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63: 468-469.
- HUNTER, R.E., 1970. Facies of iron sedimentation in the Clinton Goup. En Fisher, G.W. (Ed.), *Studies of Appalachian Geology, central and southern*. Wiley- Intersc. 101-121. N. York.
- JOHNSON, H.D.; y BALDWIN, C.T., 1986. Shallow siliciclastic seas. En Reading, H.G. (Ed.) *Sedimentary environments and facies*: 229-282. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- KLAMMER, G., 1964. Die paläozoischen Eisenerze von Sierra Grande, Argentinien. *Zeitsch. Erzberg. u Metall.*, 17: 534-541.
- KLEIN, G. de V. 1975a. Tidalites of the Eureka Quartzite (Ordovician), eastern California and Nevada. En Ginsburg, R.N. (Ed.) *Tidal deposits*: 145-151. Springer, Berlin.
- KLEIN, G. de V. 1975b. Paleotidal range sequences, Middle Member, Wood Canyon Formation (Late Precambrian), eastern California and western Nevada. En Ginsburg, R.N. (Ed.) *Tidal deposits* 171-177. Springer, Berlin.
- KUKAL, Z., 1971. Geology of recent sediments. *Acad. Publ. House, Czechosl. Acad. Sci.*, 490 pp. Praga.
- LIZUAÍN, A., 1983. Descripción geológica de la Hoja 38 J, Salinas del Gualicho, provincia de Río Negro. *Serv. Geol. Nac.*, Bol. N° 195, Buenos Aires.
- LLAMBÍAS, E.; y RAPELA, C.W., 1984. Geología de los complejos eruptivos de La Esperanza, provincia de Río Negro. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, XXXIX (3-4): 220-243.
- LLAMBÍAS, E.; CAMINOS, R.; y RAPELA, C.W., 1984. Las plutonitas y vulcanitas del Ciclo Eruptivo Gondwánico. *IX Congr. Geol. Arg.* (S.C. Bariloche), Relatorio I (4): 85-117.
- MANCEÑIDO, M.O.; y DAMBORENEA, S.E., 1984. Megafauna de invertebrados paleozoicos y mesozoicos. *IX Congr. Geol. Arg., Relatorio II* (5): 413-465. (S.C. Bariloche).
- MAYNARD, J.B., 1983. *Geochemistry of sedimentary ore deposits*. Springer, 305 pp. N. York.
- Mc CUBBIN, D.G., 1982. Barrier island and strand plain facies. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir* 31: 247-280. Tulsa.
- METHOL, E.J.; y F.L. SESANA, 1972. Notas sobre el hallazgo de ortocuarzitas conglomerádicas en la región septentrional del Macizo Nordpatagónico. *Serv. Geol. Nac.*, informe inédito, Buenos Aires.
- MÜLLER, H., 1965. Zur al tersfrage der Eisenerzlagertätte Sierra Grande Río Negro in Nordpatagonien aufgrund neuer fossilfunde. *Geol. Rundsch.*, 54 (2): 715-732.
- NAVARRO, H., 1962. Geología estructural de los yacimientos Sur y Este de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *I Jorn. Geol. Arg.*, Anales 1: 151-172, Buenos Aires.
- NIEDORODA, A.W., SWIFT, D.J.P.; HOPKINS, T.S. y MA Ch., 1984. Shoreface morphodynamics on wave-dominated coasts. En Greenwood, B. y Davis Jr. R.A. (Eds.) *Devel. in Sedim.* 39: 331-354. Elsevier, Amsterdam.
- NUÑEZ, E.; BACHMANN, E. W. de; RAVAZZOLI, I.; BRITOS, A.; FRANCHI, M.; LIZUAÍN, A. y SEPÚLVEDA, E., 1975. Rasgos geológicos del sector oriental del Macizo de Somuncurá, prov. de Río Negro, Rep. Argentina. *II Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas IV*: 247-266, Buenos Aires.
- PROSERPIO, C.A., 1978. Descripción geológica de la Hoja 42d, Gastre, provincia del Chubut. *Serv. Geol. Nac.*, Bol. n° 159, Buenos Aires.
- RAMOS, V.A.; JORDAN, T.E.; ALLMENDINGER, R.W.; MPODOZIS, C.; KAY, S.M.; CORTÉS, J.M.; y PALMA, M., 1986. Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 5 (6): 855-880.
- SCHELLMANN, W., 1969. Die Bildungsbedingungen sedimentärer Chamosit und Hämatit Eisenerze an Beispiel der Lagartätte Echte. *Neus Jahr. Min. Abh.* 111:31.
- SEILACHER, A., 1967. Bathimetry of trace fossils. *Mar. Geol.* 5:413-428.
- SEPÚLVEDA, E., 1983. Descripción geológica de la Hoja 38i, Gran Bajo del Gualicho, provincia de Río Negro. *Serv. Geol. Nac.* Bol. N° 194, Buenos Aires.
- SHIPP, R.C., 1984. Bedforms and depositional sedimentary structures of a barred nearshore system, eastern Long Island, New York. En Greenwood, B. y Davis Jr. R.A. (Eds.) *Devel. in Sed.* 39: 235-260. Elsevier, Amsterdam.
- SHORT, A.D., 1984. Beach and nearshore facies: southeast Australia. En Greenwood, B. y Davis Jr. R.A. (Eds.) *Devel. in Sed.* 39: 261-282. Elsevier, Amsterdam.

- SIEHL, A. y THEIN, J., 1978. Geochemische trends in der Minette (Jura, Luxemburg, Lothringen). *Geol. Rundsch.* 67: 1052-1077.
- SPALLETTI, L.A., 1987. Nociones sobre transporte y depositación de sedimentos clásticos. *Fac. Cs. Nat. y Mus., Ser. Tecn. y Didact.* n° 13, 102 pp. La PLata.
- SPALLETTI, L.A., y DEL VALLE, A., 1987. Plataformas silicoclásticas. X Congr. Geol. Arg., Simp. Amb. Sedim. (en prensa) S.M. de Tucumán.
- SWIFT, D.J.P. y FREELAND, G.L., 1978. Current laminations and sandwaves of the inner shelf, middle Atlantic bight of North America. *J. Sedim. Petrol.* 48: 1257-1266.
- SWIFT, D.J.P., FREELAND, G.L. y YOUNG, R.A., 1979. Time and space distribution of megaripples and associated bedforms. *Sedimentology*, 26: 389-406.
- TERWINDT, J.H.J., 1975. Sequences in inshore subtidal deposits. En Ginsburg, R.N., (Ed.) *Tidal deposits: 85-89*. Springer, Berlin.
- TEYSSEN, T.A.L., 1984. Sedimentology of the Minette oolitic ironstones of Luxembourg and Lorraine: a Jurassic subtidal sandwave complex. *Sedimentology*, 31: 195-211.
- VALVANO, J.A., 1954. Génesis de los Yacimientos de Hierro de Sierra Grande. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, IX (4): 193-209. Buenos Aires.
- WALKER, R.G.; y HARMS, J.C., 1975. Shorelines of weak tidal activity: Upper Devonian Catskill Formation, Central Pennsylvania. En Ginsburg, R.N. (Ed.) *Tidal deposits: 103-108*, Springer, Berlin.
- WEBER, E.I., 1983. Descripción geológica de la Hoja 40 J, Cerro El Fuerte, provincia de Río Negro. *Serv. Geol. Nac., Boletín* n° 196, Buenos Aires.
- ZANETTINI, J. C.M., 1981. La Formación Sierra Grande (Provincia de Río Negro). *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, XXXVI (2): 160-179, Buenos Aires.
- ZÖLLNER, W., 1951. Informe geológico-económico del yacimiento ferrífero de Sierra Grande. Territorio Nacional de Río Negro. Dir. Nac. Min. (inédito). Buenos Aires.

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestro reconocimiento a la Empresa HIPASAM, por habernos facilitado apoyo logístico en Sierra Grande. Asimismo un sincero agradecimiento por la colaboración brindada a los colegas del Departamento de Geología de la mencionada empresa, Lic. Néstor Cozzi y Lic. Marcelo Amavet. Muy especialmente agradecemos al Lic. Mario Horak, también de HIPASAM, por su continua y esforzada ayuda ante nuestros requerimientos.

El CONICET a través del subsidio PID 3-904501/85, nos brindó apoyo económico para las investigaciones en el Macizo Norpatagónico por intermedio del Centro de Investigaciones Geológicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Contribución al Proyecto IGCNP° 270.