

Research Article

Rodados bioerosionados en depósitos marinos holocenos del estuario de Bahía Blanca, Argentina: consideraciones paleoambientales y procedencia

Jorge O. Spagnuolo^{1,2}, Ester A. Farinati² & Salvador Aliotta^{1,2}

¹Instituto Argentino de Oceanografía, CONICET-UNS, CCT Bahía Blanca
Camino La Carrindanga km 7, C.C. 804, 8000 Bahía Blanca, Argentina

²Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur
San Juan 670, 8000 Bahía Blanca, Argentina

RESUMEN. En la costa norte del estuario de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina, se presentan cordones litorales compuestos por arena conchilífera y elevada proporción de rodados de origen sedimentario. Muchos de estos clastos muestran importantes signos de bioerosión. La procedencia de este material se vincula con las extensas plataformas de abrasión presentes al este del estuario (costas de Pehuén Co). Se determinaron dos icnofacies: la icnofacies de *Trypanites* integrada por *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora*, *Trypanites*, *Gnathichnus* y *Radulichnus*, propia de sustratos duros y la icnofacies de *Skolithos* representada por galerías de *Ophiomorpha* desarrollada en sustratos blandos. Ambas, caracterizan un ambiente litoral somero. Durante la transgresión holocena, los sustratos costeros se vieron afectados por el avance marino y los fragmentos erosionados fueron transportados por deriva litoral hacia el interior del estuario. Finalmente, eventos de tormenta depositaron en los cordones litorales el material con signos de bioerosión. En la actualidad, muchos de estos rodados que presentan gradación en tamaño hacia el interior del estuario, se hallan en tránsito en las playas por deriva litoral este-oeste.

Palabras clave: bioerosión, plataformas de abrasión, rodados, transgresión holocena, deriva litoral, Argentina.

Bioeroded boulders in Holocene marine deposits of the Bahía Blanca Estuary: palaeoenvironmental considerations and provenance

ABSTRACT. On the north shore of the Bahía Blanca estuary, Buenos Aires, Argentina, sand shell ridges composed by a high proportion of boulders of sedimentary origin are present. Many of these clasts show significant signals of bioerosion. The precedence of this material is linked to the extensive abrasion platforms present to the east of the estuary (coasts of Pehuén Co). Two ichnofacies were established: *Trypanites* ichnofacies comprising *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora*, *Trypanites*, *Gnathichnus* and *Radulichnus*, typical of hard substrates and *Skolithos* ichnofacies represented by *Ophiomorpha* galleries developed in soft substrates. Both characterize a shallow coastal environment. During the Holocene transgression, coastal substrates were affected by the advancing sea and eroded fragments were transported by littoral drift into the estuary. Finally, storm events deposited material with signs of bioerosion in the littoral ridges. Today, many of these boulders, which exhibit gradations in size into the estuary, are in transit across the beaches by east-west littoral drift.

Keywords: bioerosion, wave cut platform, boulders, Holocene transgression, littoral drift, Argentina.

Corresponding author: Jorge O. Spagnuolo (jospa@criba.edu.ar)

INTRODUCCIÓN

El último evento transgresivo-regresivo marino ocurrido durante el Holoceno afectó a las costas del mundo y en diversa medida influyó también el litoral argentino. Como resultado de este proceso,

permanecen sobre la costa norte del estuario de Bahía Blanca, ubicado al sureste de dicha localidad, depósitos sedimentarios que constituyen cordones y espigas. Estos depósitos son acumulaciones elongadas, que se disponen en forma subparalela entre sí y con respecto a la línea de costa actual, están integrados por

arenas medianas a gruesas, con importantes concentraciones de valvas de moluscos, rodados y bloques de variada litología.

Los procesos de penetración biológica en sustratos duros comprenden la actividad de una amplia gama de organismos, entre los que se puede encontrar desde algas y hongos microscópicos hasta vertebrados que los perforan o roen. Diversas comunidades de organismos que perforan, incrustan o anidan tienen un largo registro fósil, y los signos de bioerosión pueden ser utilizados exitosamente para estudios paleoecológicos (Wilson, 1987). Entre otros elementos, son susceptibles de ser bioerosionados: plataformas rocosas, rocas móviles como cantos rodados y bloques, sedimentos endurecidos, restos esqueléticos (valvas y huesos), etc. (Taylor & Wilson, 2003). Como consecuencia, las estructuras biogénicas resultantes se clasifican como trazas fósiles. Asimismo, el conocimiento de las diferentes trazas fósiles, que afectan a los sustratos líticos, puede ser empleado para interpretar condiciones de salinidad, oxigenación, turbulencia del agua, etc., específicas para cada especie colonizadora (Martinell, 1989).

La mayor parte de los estudios sobre bioerosión en valvas o restos esqueléticos provienen de sustratos que han sido colonizados y bioerosionados por la acción de una amplia variedad de organismos bentónicos perforantes (Boekschoten, 1967; Farinati *et al.*, 2002, 2007; Bromley, 2004; Gibert *et al.*, 2004). Existen también numerosos trabajos referidos a bioerosión en distintos tipos de sustratos duros móviles de ambientes litorales (Wilson, 1986, 1987; Gibert *et al.*, 1998; Doménech *et al.*, 2001; Taylor & Wilson, 2003; Donovan *et al.*, 2007). Por el contrario, este tipo de estudios son escasos en Argentina, en especial para el área del estuario de Bahía Blanca.

El objetivo del presente trabajo consiste en establecer los icnotaxones, producto de bioerosión, observables en rodados y bloques que integran depósitos fosilíferos cordoniformes holocenos, así como acumulaciones litorales modernas que se presentan de manera saltuaria a lo largo de la franja costera entre el Balneario Pehuén Co y el estuario de Bahía Blanca (Fig. 1). Además, vincular a estos materiales transportados con sus posibles áreas de generación, para establecer la evolución paleoambiental que condujo al estado actual de los depósitos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Marco sedimentológico-estratigráfico

A partir del último proceso transgresivo que dejó evidencias de al menos dos líneas costeras actual-

mente sumergidas (Aliotta, 1987; Spagnuolo, 2005) y cuya edad se ubica en torno a los 8,5 ka AP (Spagnuolo, 2005), habría comenzado un proceso de transporte de materiales como carga de fondo hasta niveles más someros. Durante el Holoceno medio, se alcanzó el máximo nivel del mar en la costa argentina del Atlántico Sur (Weiler, 1980, 1983, 1993; Schnack *et al.*, 1982; Trebino, 1987; Rutter *et al.*, 1989, 1990; Cortelezzi *et al.*, 1992; Codignotto & Aguirre, 1993; Aguirre & Whatley, 1995; Isla *et al.*, 1996; González, 1996; Schellmann & Radtke, 1997; Bujalesky, 1997; Isla, 1998; Aramayo *et al.*, 1998; Gutiérrez-Téllez & Schillizzi, 2002; Isla & Bujalesky, 2004) y fue durante este período que la acción de tormentas extraordinarias habría originado los cordones actualmente emplazados en los niveles topográficos más elevados del estuario de Bahía Blanca (Aliotta & Farinati, 1990; Farinati & Aliotta, 1997; Spagnuolo, 2005).

Con posterioridad, durante el transcurso de la regresión, continuaron formándose depósitos de características similares, que se ubican en los sectores costeros menos elevados. De este modo, se habrían sucedido los eventos conducentes al estado actual. En todos los casos, los cordones litorales que constituyen uno de los rasgos morfo-sedimentológicos más relevantes del último proceso transgresivo-regresivo Holoceno, en el estuario de Bahía Blanca, presentan elevado contenido de material lítico con signos de bioerosión. Los diferentes niveles que integran estos depósitos poseen estratificación paralela a subparalela con espesores que oscilan desde 4 hasta 40 cm y están mayoritariamente integrados por arenas medianas a gruesas, con concentraciones variables de valvas de moluscos y rodados de distinta litología. El empaquetamiento sedimentario, varía desde bioclasto soporte (en los casos donde los bioclastos y algunos clastos líticos están en contacto mutuo), característica distintiva del sector interno del estuario (Fig. 2a), a matriz soporte, donde los rodados y restos de moluscos se presentan dispersos en la arena (sector externo) (Fig. 2b). Los cordones ubicados en cercanías de la ciudad de Bahía Blanca (área interna), se apoyan en discordancia erosiva sobre sedimento limo arcillo arenoso atribuible a una antigua llanura de marea. Sus bases se localizan en cotas de hasta 5,50 m sobre el nivel medio del mar (n.m.m.). El material que los integra es, fundamentalmente, arena mediana con alto porcentaje de valvas y menor proporción de fragmentos líticos.

Los depósitos ubicados en la franja costera, al este de la ciudad de Punta Alta, se ubican en un nivel altimétrico ligeramente inferior y se apoyan en discordancia sobre arena fina con baja proporción de fango. El material sedimentario que los compone

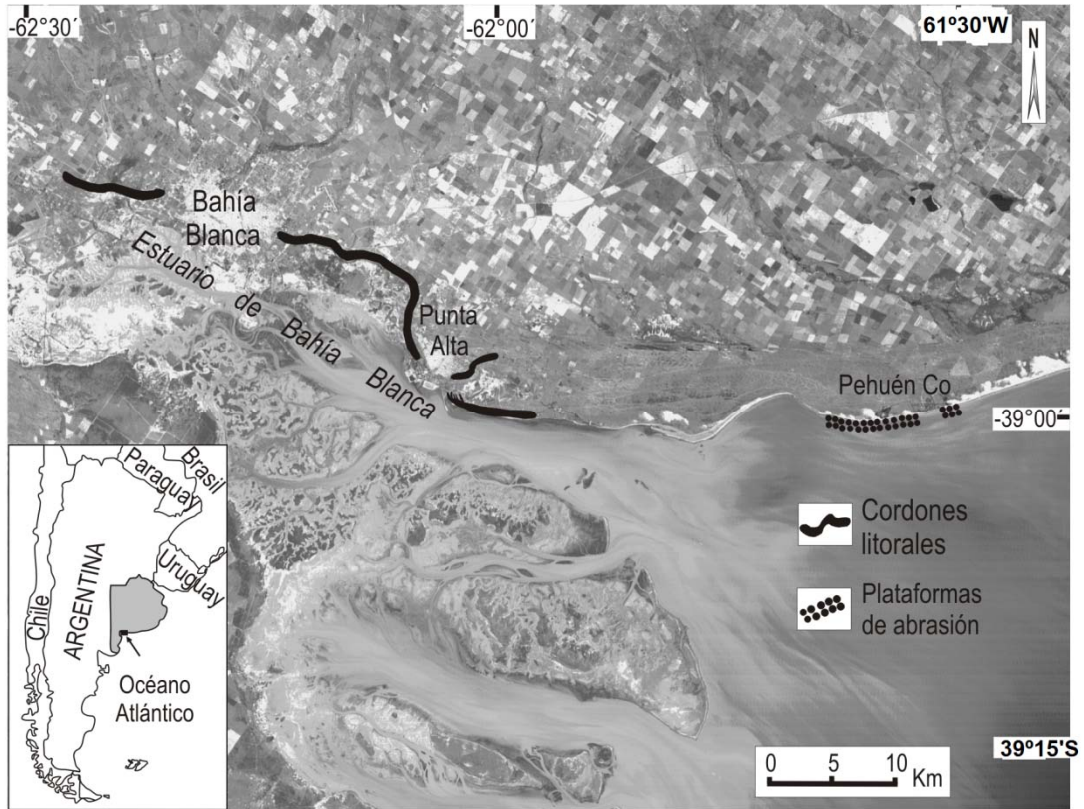


Figura 1. Área de estudio. Estuario de Bahía Blanca, Argentina.

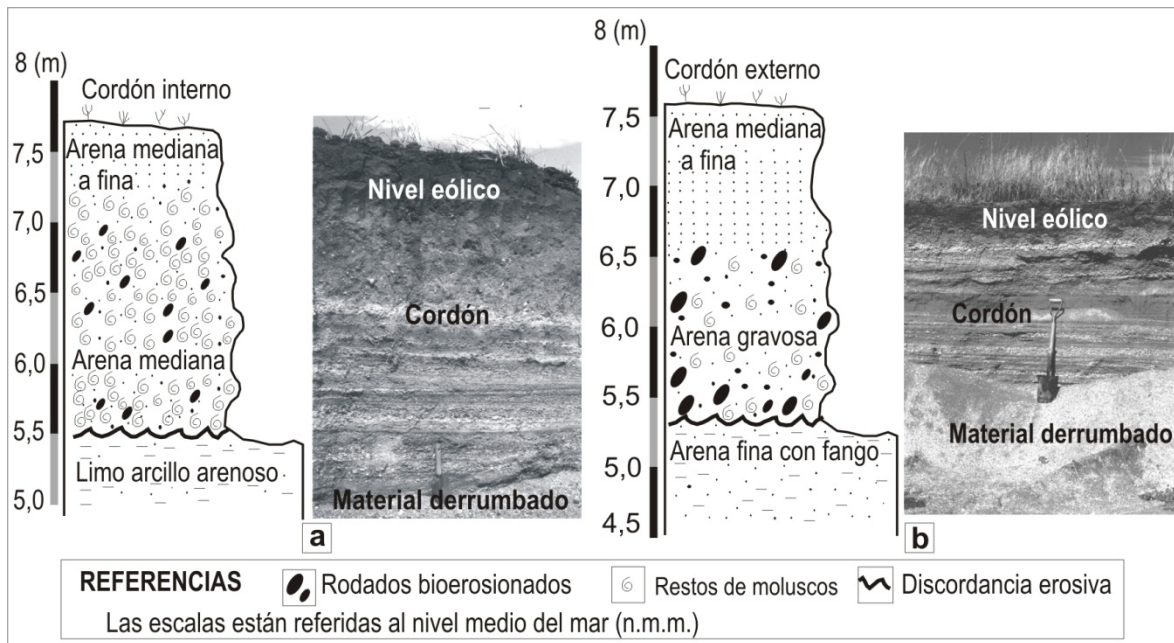


Figura 2. Cordones litorales del estuario de Bahía Blanca. a) Esquema estratigráfico e imagen de un cordón correspondiente a la zona interna, b) esquema estratigráfico e imagen de un cordón correspondiente a la zona externa.

corresponde a arena gruesa gravosa de pobre selección, donde la grava está integrada por conchilla, rodados de cuarcita y numerosos rodados de limolita, arenisca limolítica y clastos aplanados limo arenoso calcáreos. La estratificación presente, con niveles de espesor oscilante entre 5 y 40 cm, se dispone con suave buzamiento hacia el sur en ángulos de entre 5 y 15°. Por encima del depósito marino, se presenta una cobertura de arena fina a mediana de carácter eólico y de potencia variable (Fig. 2b). Numerosas dataciones radimétricas de C^{14} , efectuadas a lo largo de toda el área de estudio sobre material conchilífero, indican para estas acumulaciones edades mínimas que varían entre 6,5 ka y 1,7 ka AP (González *et al.*, 1983; Farinati, 1985; Spagnuolo, 2005). Las concentraciones esqueléticas de moluscos presentes en estas unidades morfológicas fueron estudiadas con enfoque esencialmente tafonómico (Spagnuolo *et al.*, 2000, 2001; Aliotta *et al.*, 2001; Farinati *et al.*, 2002; Spagnuolo, 2005). Asimismo, los trabajos mencionados analizan detalladamente las características sedimentológicas, estratigráficas y morfológicas de los cordones.

Obtención de muestras y análisis

A lo largo de los diversos depósitos cordoniformes costeros se extrajeron 50 muestras sedimentológicas. El tratamiento granulométrico del material se llevó a cabo por medio de tamizado, siguiendo técnicas convencionales (Folk & Ward, 1957). Los bloques y rodados extraídos de los cordones fueron lavados y analizados para establecer tanto las litologías como sus rasgos icnológicos.

En cercanías de la localidad de Pehuén Co, se analizaron diversos sectores con amplias plataformas de abrasión. Las mismas, presentes en sectores intermareales y submareales, se desarrollan de manera discontinua y parcialmente cubiertas por arena de playa. Para obtener una estimación cuantitativa de la proporción de perforaciones que afecta a las plataformas marinas del área de estudio se estableció, por conteo, el número de perforaciones circulares de *Gastrochaenolites* por metro cuadrado. Asimismo, en las acumulaciones de la playa, se recolectaron de manera aleatoria 300 rodados dispersos sobre los que se determinaron los diferentes tipos de rasgos bioerosivos.

RESULTADOS

El material lítico de las plataformas de abrasión, de los cordones y de los rodados dispersos en la playa comprende litologías de composición, forma y tamaño variados. Dentro de estos materiales sedimentarios se

distinguen dos tipos principales: arcilitas limolíticas calcáreas y areniscas limolíticas calcáreas.

Arcilitas limolíticas calcáreas

Se presentan con forma de fragmentos aplanados de carácter prismático e integran bloques de hasta 20 cm de lado mayor y 4 cm de espesor máximo. Sus caras aplanadas presentan diferentes signos de bioerosión y/o estructuras sedimentarias entre las que se citan:

- Raspaduras superficiales paralelas: integradas por marcas separadas entre sí de 3 a 5 mm. Estas trazas fósiles se atribuyen a *Radulichnus* (Voigt, 1977) y fueron producidas por la locomoción o pastoreo de gastrópodos y/o chitones (Fig. 3a).
- Perforaciones circulares con forma de clavos: aproximadamente normales a la superficie, de hasta 4 mm de diámetro o menores y con base redondeada, a veces se hallan rellenas de sedimento. En la mayoría de los casos las perforaciones no atraviesan totalmente el espesor de los fragmentos. Estas estructuras se atribuyen a *Gastrochaenolites* (Leymerie, 1842) y son realizadas por bivalvos perforantes del tipo *Litophaga* (Fig. 3b).
- Perforaciones circulares cilíndricas: desarrolladas verticalmente, de hasta 1 mm de diámetro, asignadas a *Trypanites* (Mägdefrau, 1932) y producidas por anélidos. En algunos casos, alrededor de las perforaciones se han depositado dendritas de manganeso de configuración fibro-rradiada y en otros casos aureolas de óxido de hierro en tonos castaños oscuros (Fig. 3c).
- Galerías cilíndricas sinuosas: de hasta 6 mm de anchura, correspondientes a *Maeandropolydora* (Voigt, 1965) y atribuidas a la actividad de anélidos poliquetos (Fig. 3d).
- Raspaduras superficiales en estrella: atribuidas a *Gnathichnus* (Bromley, 1975), son producidas por el pastoreo de equinoideos (Fig. 3e).
- Pisolitos: concreciones esféricas de 7 a 9 mm de diámetro, originadas por algas y formadas probablemente a partir de un núcleo central de arcilla. Se presentan finamente laminadas (Fig. 3f).
- Dendritas de manganeso: se presentan de manera arborescente asociadas a grietas en la superficie de las plataformas y en ocasiones en rodados. No se les atribuye vinculación directa con las trazas biogénicas (Fig. 3g).

Areniscas limolíticas calcáreas

Constituyen bloques de carácter prismático de hasta 20 cm de lado mayor y hasta 6 cm de espesor máximo. Se presentan fuertemente afectadas por:

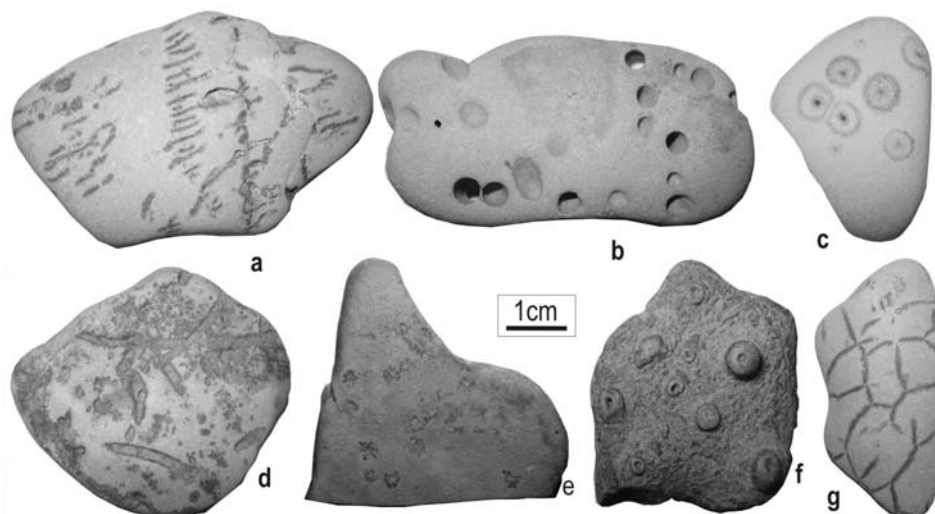


Figura 3. Rodados de arcilitas limolíticas calcáreas. a) *Radulichnus* isp., b) *Gastrochaenolites* isp., c) *Trypanites* isp., d) *Maeandropolydora* isp., e) *Gnathichnus* isp., f) pisolitos, g) dendritas de óxidos de manganeso.

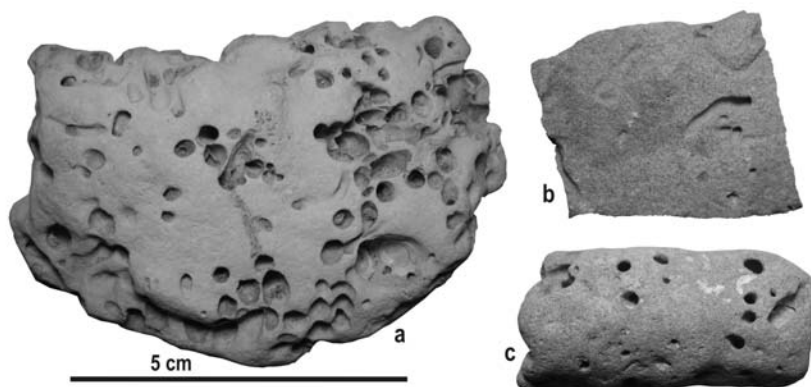


Figura 4. Rodados bioerosionados de areniscas limolíticas calcáreas. a) *Gastrochaenolites* isp., b) *Maeandropolydora* isp., c) perforaciones de *Gastrochaenolites* isp. sobre tubo de *Ophiomorpha* que ha sido rodado.

- Perforaciones circulares con forma de clavos: distribuidas por toda la superficie, aproximadamente normales a la misma, atribuidas a *Gastrochaenolites* isp. (Fig. 4a)
- Galerías cilíndricas sinuosas: de entre 3 y 5 mm de anchura, asignadas a *Maeandropolydora* isp. (Fig. 4b).
- Sistema de galerías: asignadas a *Ophiomorpha* (Lundgren, 1891) debidas a la actividad de crustáceos callianassidos. Los diámetros de estos tubos varían de 2 a 10 cm (Figs. 4c, 5a). La pared interna de los tubos es lisa mientras que la externa es rugosa debido a la presencia de pellets aglutinados. Este sistema de galerías atribuido a *Ophiomorpha* no se encuentra asociado a ningún otro icnogénero.

Desde un enfoque etológico, las trazas fósiles registradas constituyen Domichnia originadas en la búsqueda de refugio (*Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora*, *Trypanites*, *Ophiomorpha*) y Pascichnia por pastoreo y alimentación (*Radulichnus*, *Gnathichnus*). Estas trazas se presentan también sobre variados restos esqueléticos de moluscos que han estado disponibles en el fondo marino y que, del mismo modo, fueron utilizados por los organismos perforantes e incrustantes como sustratos duros.

El conteo de perforaciones atribuidas a *Gastrochaenolites* sobre distintos sectores de plataformas de abrasión arrojó un valor promedio de 2000 a 2500 perforaciones por metro cuadrado (Fig. 5b).

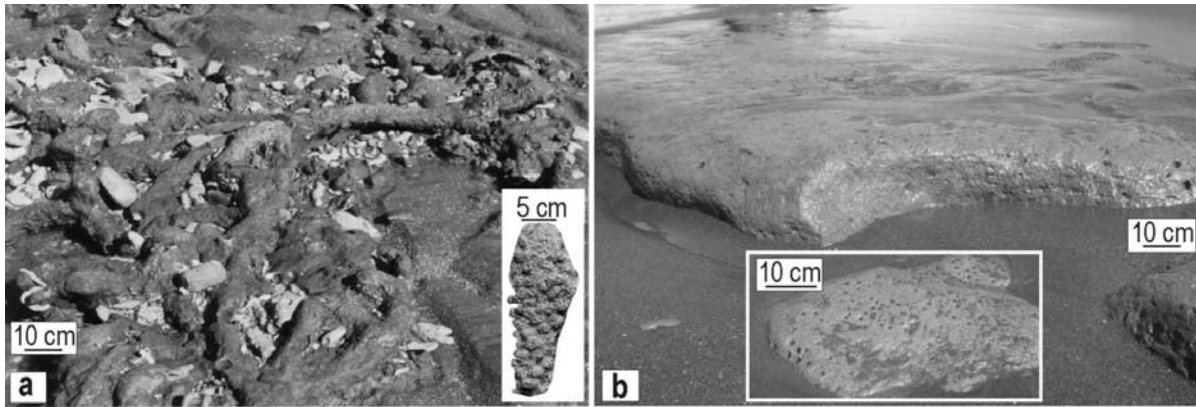


Figura 5. Plataformas de abrasión por olas de Pehuén Co. a) Plataforma de areniscas limolíticas calcáreas con galerías de *Ophiomorpha* isp. con detalle de un tubo, b) plataforma de arcilitas limolíticas calcáreas con detalle de las perforaciones que las afectan.

DISCUSIÓN

Las trazas fósiles de bioerosión realizadas por distintos organismos en búsqueda de habitación o refugio, alimentación, fijación y pastoreo son producidas principalmente por esponjas, poliquetos, bivalvos, equinoideos y gastrópodos (Warme, 1975; Bromley, 1992, 1994; Martinell & Domènech, 1995; Gibert *et al.*, 2004; Donovan *et al.*, 2007), que deben desarrollar diversas estrategias para perforar y/o incrustar los sustratos (Taylor & Wilson, 2003). Las rocas, de variada litología y origen, así como valvas, huesos y madera, ofrecen hábitats de relativa estabilidad estructural para los organismos colonizadores en comparación con el brindado por los sedimentos no consolidados. La literatura ofrece variados ejemplos de especies que viven sobre sustratos duros móviles (rodados y bloques), en algunos casos, previamente perforados por bivalvos y posteriormente, habitados por organismos que se adaptan a vivir en dichas cavidades (Wilson, 1986). Un ejemplo del accionar de estas especies fue descrito para el Eoceno de Nueva Zelanda (Lee *et al.*, 1997), donde rodados basálticos del tamaño guijarro y guijón, a pesar de su dureza, constituyen el sustrato para epibiontes como algas coralinas, serpúlidos, bivalvos y briozoos. De modo semejante, algunos organismos bioerodadores, habitantes del entorno al estuario de Bahía Blanca, han utilizado sustratos líticos tanto fijos como parcialmente móviles para desarrollar sus estrategias de vida.

Una icnofacies es una asociación de trazas fósiles que aparece recurrentemente a lo largo del tiempo geológico y está relacionada a determinados pará-

metros ambientales. En el área de estudio, sobre la base de la asociación de trazas fósiles presentes en las plataformas costeras, en los fragmentos líticos desprendidos de las mismas y en los rodados integrantes de los cordones litorales y playas actuales se reconocieron dos icnofacies: la icnofacies de *Trypanites*, propia de sustratos duros, desarrollada en las plataformas de arcilitas limolíticas calcáreas y la icnofacies de *Skolithos*, propia de sustratos blandos, presente en las plataformas de areniscas limolíticas actualmente cementadas por carbonato de calcio. En ambos casos, estas icnofacies se definieron considerando las asociaciones de trazas presentes, sus extensiones areales y continuidad lateral. Una situación equivalente fue descrita por Bromley & Asgaard (1993) que adjudican a la icnofacies de *Entobia* a fragmentos bioerosionados desprendidos de costas acantiladas de la isla de Rhodas.

En ambientes costeros, cuando se hallan perforaciones sobre rocas duras, el proceso evolutivo paleoambiental que puede inferirse de la interpretación de las diferentes icnofacies responde a características evolutivas propias de dichos ambientes como la profundidad de la columna de agua y las condiciones energéticas y depositacionales (Kleemann, 1973; Bromley, 1992; 1994). En el caso específico del estuario de Bahía Blanca, la presencia de rodados bioerosionados señalaría momentos con intervención de moderada energía de olas y baja tasa de sedimentación que permitieron cierta estabilidad estructural como para que los rodados se constituyan en sustratos susceptibles de ser colonizados.

La icnofacies de *Trypanites* descrita por Frey & Seilacher (1980) caracteriza a una asociación de

perforaciones y raspaduras en ambientes marinos. Esta icnofacies está dominada por perforaciones cilíndricas, en forma de clavos, de gota, en U o de geometría irregular, que se disponen perpendiculares a la superficie del sustrato y representan domicilios de organismos suspensívoros o predadores pasivos. También se presentan raspaduras y roeduras de pastadores algales. La icnodiversidad es moderadamente baja, pero la abundancia es alta. Los icnogéneros más típicos son *Trypanites*, *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora*, *Gnathichnus* y *Radulichnus*. La icnofacies de *Trypanites*, implica superficies de omisión marinas litorales y sublitorales en sustratos consolidados como costas rocosas, rocas de playa, sustratos duros (hardgrounds) y sustratos de naturaleza orgánica como capas de huesos o coquinas (Frey & Pemberton, 1984). En el área de estudio, la icnofacies de *Trypanites* puede vincularse al evento regresivo del Holoceno medio. Asimismo, en las costas estudiadas, la presencia de óxidos de Fe rodeando las perforaciones de *Trypanites*, evidente en algunos rodados (Fig. 3c), sugiere variaciones en las condiciones óxido reductoras que implican exposiciones subaéreas propias de las plataformas costeras en un ambiente regresivo. Estos óxidos, presentes en las sedimentitas arcillo limosas junto con dendritas de óxidos de manganeso constituyen formas arborescentes. El origen de las dendritas se asocia a la precipitación del manganeso infiltrado con el agua de mar en las discontinuidades superficiales de las rocas (Van Cappellen & Wang, 1996; Usui & Someya, 1997).

La icnofacies de *Skolithos* (Seilacher, 1964) está integrada por estructuras de habitación verticales y sistemas de galerías horizontales y ramificadas. En el área de estudio se presentan galerías altamente desarrolladas de *Ophiomorpha* que constituyen una asociación mono-específica muy bien representada en las plataformas arenosas estudiadas (Fig. 5b), que son atribuidas a la acción de cangrejos callinásidos.

Debido a la erosión que afectó a las costas de Pehuén Co durante el proceso regresivo Holoceno, las estructuras superficiales en posición vertical de estas galerías han desaparecido y han quedado preservadas sólo las trazas más profundas de disposición horizontal y ramificada. La icnofacies de *Skolithos* se relaciona con condiciones litorales inferiores a sublitorales con predominio de energía moderada, característica de costas dominadas por mareas. Está asociada a sedimentos mayoritariamente arenosos, con escaso fango, bien seleccionados y móviles, sujetos a abrupta erosión o depositación con presencia de gran cantidad de partículas orgánicas mantenidas en suspensión por olas o corrientes (Buatois *et al.*, 2002;

Buatois & Mángano, 2008). En el caso de estudio, la icnofacies de *Skolithos* se habría originado sobre material no consolidado que, posteriormente, durante la etapa regresiva, habría sufrido somerización acompañada por cementación carbonática. En la actualidad, procesos erosivos mediante los restos de las galerías se encuentran parcialmente cementados en la plataforma de areniscas limolíticas calcáreas (Fig. 5a).

Con enfoque evolutivo ambiental, al inicio del Holoceno, con un nivel marino más bajo que el actual, en una costa más abierta, se habría posibilitado el desarrollo sobre las plataformas de abrasión de una intensa actividad bioerosiva por parte de organismos perforantes en búsqueda de refugio y alimento. Si bien la bioerosión es casi exclusivamente un proceso marino, particularmente *Gastrochaenolites* (icnofacies de *Trypanites*) constituye trazas fósiles propias de aguas marinas superficiales (Kleemann, 1973; Bromley, 1992, 1994), por lo cual sólo pueden inferirse unos pocos metros de columna de agua para el contexto ambiental donde se desarrolló este proceso (ambiente litoral).

Si se tiene en cuenta que los sustratos rocosos pueden ser fragmentados por erosión, las piezas sueltas resultantes se convierten en clastos de variada movilidad dependiendo de su tamaño y de la energía del ambiente. El movimiento de los clastos, va a afectar drásticamente a aquellas comunidades de sustratos duros que intentan colonizarlos (Martinell, 1989). Aún así, los restos líticos, al igual que las valvas aisladas, pueden considerarse como islas bénticas disponibles para perforadores e incrustadores (Oschmann, 1990). En este contexto, las asociaciones de organismos bioerosionadores desarrolladas sobre algunos rodados de menor tamaño de areniscas limolíticas calcáreas (*Gastrochaenolites*, Fig. 4a; *Maeandropolydora*, Fig. 4b) e inclusive sobre restos rodados de tubos de *Ophiomorpha* (Fig. 4c) que han sufrido transporte, representan comunidades menos maduras que aquellas halladas en los fragmentos de mayor tamaño removidos por olas de las plataformas que han permanecido estables durante más tiempo. Este efecto se atribuye a la mayor inestabilidad posicional de los rodados propia de un medio litoral como lo sostienen Domènech *et al.* (2001).

En el presente estudio no se trata la bioerosión sobre valvas, pues la misma ya ha sido analizada en detalle en trabajos previos con resultados semejantes (Aliotta *et al.*, 2001; Spagnuolo *et al.*, 2001; Farinati *et al.*, 2002, 2006; Spagnuolo, 2005). Sin embargo, sobre la base de esos estudios, puede establecerse que los restos esqueléticos presentan moderados signos de bioerosión como consecuencia, tanto de una rápida

captura por olas de tormenta como también por un inmediato enterramiento a consecuencia de una elevada tasa de sedimentación ocurrida *a posteriori* de los eventos tempestícos que conformaron los cordones (Farinati & Aliotta, 1995, 1997). Asimismo, las icnofacies mencionadas, señalan la acción de diferentes comunidades bentónicas que se sucedieron en el tiempo durante la transgresión como resultado de los distintos niveles alcanzados por el mar en el transcurso de dicho proceso.

Conforme avanzó el evento transgresivo-regresivo, las plataformas bioerosionadas habrían sido afectadas por la acción de olas de tormenta que transportaron, por deriva litoral hacia sectores internos y menos profundos, los fragmentos líticos con abundantes señales de bioerosión. Esta dirección de migración sedimentaria fue indicada por Spagnuolo (2005), sobre la base de la disposición de los ganchos de una espiga ubicada en la costa de Punta Alta y asimismo es coincidente con la deriva definida por Aliotta *et al.* (1999), en el litoral sumergido ubicado al este de la zona de estudio. Como consecuencia de esto es posible observar una gradación en la textura de los rodados y bloques y, por lo tanto, los de mayor dimensión predominan en las áreas más externas del estuario (Figs. 2a, 2b). Aunque en la actualidad en el área del estuario no se forman cordones litorales, en sectores aledaños aun se encuentran restos líticos en tránsito con características similares a las descritas en este trabajo. Este efecto, se observa en la mencionada zona litoral de Pehuén Co, donde la energía de las olas es suficiente como para transportar hacia el interior del estuario los clastos que fueron arrancados previamente de las plataformas de abrasión.

La energía puesta en juego por los cambios del nivel del mar Holoceno, aunado a la acción de olas de tormenta, habrían constituido los factores condicionantes para la formación de los cordones donde actualmente se hallan los rodados con signos de bioerosión. Asimismo, la abundancia relativa, y el mayor tamaño de restos líticos bioerosionados al este del estuario, responden a la mayor energía de olas disponible en costas abiertas que todavía mantiene, por deriva litoral, el tránsito de estos materiales hacia la zona interna del estuario (Aliotta *et al.*, 1996, 2001a; Spagnuolo, 2005).

CONCLUSIONES

Las icnofacies definidas por primera vez para al área costera al sudeste de Bahía Blanca permiten establecer de manera general parámetros ambientales que afectaron a las comunidades bentónicas que bioero-

sionaron los sustratos durante el proceso transgresivo-regresivo Holoceno.

Las icnofacies de *Trypanites* y *Skolithos*, difieren en la naturaleza de los sustratos donde se desarrollan y ambas representan la acción de comunidades propias de ambientes marinos someros. La icnofacies de *Trypanites* indica una superficie de endurecimiento como consecuencia de somerización. La icnofacies de *Skolithos* (*Ophiomorpha*), desarrollada en sedimentos arenosos, indica condiciones de energía moderada. La presencia de galerías horizontales y ramificadas de *Ophiomorpha* en el área litoral señala el avance de la línea de costa hacia el interior del continente. La posterior regresión marina dejó al descubierto sobre la plataforma de arenisca cementada los remanentes de las galerías de *Ophiomorpha*.

La deriva litoral imperante en el área de estudio con sentido este-oeste es responsable de la distribución de rodados de diferentes litologías que se encuentran tanto incluidos dentro de los cordones holocenos como en las playas actuales. Muchos de estos rodados, cuya génesis puede hallarse en las plataformas de abrasión, presentan signos de bioerosión atribuibles a las trazas fósiles descriptas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se financió con los siguientes subsidios: PGI 24/H099 y PGI 24/H107 (Secretaría de Ciencia y Técnica, UNS); PIP N° 5538 (CONICET) y PICT 7-31666 (Agencia, MINCYT).

REFERENCIAS

- Aguirre, M.L. & R.C. Whatley. 1995. Late Quaternary marginal marine deposits from north-eastern Buenos Aires Province, Argentina: a review. *Quaternary Sci. Rev.*, 14: 223-254.
- Aliotta, S. 1987. Estudio de la geomorfología y de la dinámica sedimentaria del estuario de Bahía Blanca entre Puerto Rosales y El Fondeadero. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 180 pp.
- Aliotta, S. & E.A. Farinati. 1990. Stratigraphy of Holocene sand-shell ridges in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Mar. Geol.*, 94: 353-360.
- Aliotta, S., J.O. Spagnuolo & E.A. Farinati. 2001. Sedimentological and taphonomical differentiation of Quaternary marine deposits, Bahía Blanca, Argentina. *J. Coastal Res.*, 17(4): 792-801.
- Aliotta, S., G.O. Lizasoain, W.O. Lizasoain & S.S. Ginsberg. 1996. Late Quaternary sedimentary

- sequence in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *J. Coastal Res.*, 12(4): 875-882.
- Aliotta, S., J.O. Spagnuolo, S.S. Ginsberg & E.M. Gelós. 1999. Sedimentos de fondo-subfondo y aspectos geomorfológicos de la plataforma continental entre el estuario de Bahía Blanca y bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Arg. Sed.*, 6(1-2): 19-35.
- Aramayo, S.A., L.M. Malla & B.M. Gutiérrez-Telléz. 1998. Nuevos aportes paleoflorísticos relacionados al cangrejal fósil de Monte Hermoso, Holoceno medio (Provincia de Buenos Aires). *Actas Simposio Argentino de paleobotánica y palinología*, Mendoza, 10: 1-4.
- Boeschoten, G.J. 1967. Palaeoecology of some mollusca from the Tielrode sands (Pliocene, Belgium). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, 3: 311-362.
- Bromley, R.G. 1975. Comparative analysis of fossil and recent echinoid bioerosion. *Palaeontology*, 18: 725-739.
- Bromley, R.G. 1992. Bioerosion: eating rocks for fun and profit. In: Ch.G. Maples & R.R. West (eds.). *Trace fossils. Short courses in paleontology*, 5, Paleontological Society, Knoxville, Tennessee, pp. 121-129.
- Bromley, R.G. 1994. The Palaeoecology of bioerosión. In: S.K. Donovan (ed.). *The Palaeobiology of trace fossils*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 134-154.
- Bromley, R.G. 2004. A stratigraphy of marine bioerosion. In: D. McIlroy (ed.). *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. Geological Society of London, Special Publication, 228: 445-479.
- Bromley, R.G. & U. Asgaard. 1993. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. *Geol. Rundsch.*, 82: 276-280.
- Buatois, L. & M.G. Mángano. 2008. Trazas fósiles de invertebrados. In: H.H. Camacho & M.I. Longobucco (eds.). *Los invertebrados fósiles*. Fundación de Historia Natural Félix de Azada, Buenos Aires, pp. 751-785.
- Buatois, L., M.G. Mángano & F.G. Aceñolaza. 2002. Trazas fósiles. Señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew, 382 pp.
- Bujalesky, G.G. 1997. Morfodinámica y evolución histórica de la espiga Punta Popper y la boca de mareas del río Grande, Tierra del Fuego. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 52(2): 187-201.
- Codignotto, J.O. & M.L. Aguirre. 1993. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. *Mar. Geol.*, 110: 163-175.
- Cortezzi, C.R., R.E. Pavlicelic, C.A. Pitori & A.V. Parodi. 1992. Variaciones del nivel del mar en el Holoceno en los alrededores de La Plata y Berisso. *Actas IV Reunión Argentina de Sedimentología*, La Plata, 2: 131-138.
- Domènech, R., J.M. Gibert & J. Martinell. 2001. Ichnological features of a marine transgression: middle Miocene rocky shores of Tarragona, Spain. *Geobios*, 34(1): 99-107.
- Donovan, S.K., F.E. Fearnhead & Ch.J. Underwood. 2007. Recent borings in limestones cobbles from Marloes bay, southwest Wales. *Lethaia*, 40: 233-236.
- Farinati, E.A. 1985. Radiocarbon dating of Holocene marine deposits, Bahía Blanca area, Buenos Aires Province, Argentina. *Quat. S. Am. A.*, 3: 197-206.
- Farinati, E.A. & S. Aliotta. 1995. Análisis tafonómico de conchillas en cordones holocenos, Bahía Blanca, Argentina. *Actas IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, Junín, 1: 89-97.
- Farinati, E.A. & S. Aliotta. 1997. Análisis de tafofacies transgresivas regresivas holocenas, Estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 52(1): 56-64.
- Farinati, E.A., J.O. Spagnuolo & S. Aliotta. 2002. Bioerosion and dissolution of molluscs in Holocene deposits in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. In: M. de Renzi, M.V. Pardo-Alonso, M. Belinchón, E. Peñalver, P. Montoya & A. Marquez-Aliaga (eds.). *Current topics on taphonomy and fossilization, International Conference Taphos 2002*, Valencia, pp.193-198.
- Farinati, E.A., J.O. Spagnuolo & S. Aliotta. 2006. Bioerosión en micromoluscos holocenos del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Ameghiniana*, 43: 45-54.
- Farinati, E.A., J.O. Spagnuolo & S. Aliotta. 2007. Bioerosión en sustratos líticos de la costa sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *IV European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America*. *Cuad. Mus. Geomin.*, 8: 137-142.
- Folk, R. & W. Ward. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petr.*, 27: 3-26.
- Frey, R.W. & A. Seilacher. 1980. Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, 13: 183-207.
- Frey, R.W. & S.G. Pemberton. 1984. Trace fossils facies models. In: R.G. Walker (ed.). *Facies models*. Geosc. Can. Reprint Ser., pp. 189-207.
- Gibert, J.M., J. Martinell & R. Domènech. 1998. *Entobia* ichnofacies in fósil rocky shores, lower Pliocene, northwestern Mediterranean. *Palaios*, 13: 476-487.
- Gibert, J.M., R. Domènech & J. Martinell. 2004. An ethological framework for animal bioerosion trace

- fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, fixichnia. *Lethaia*, 37: 429-437.
- González, M.A. 1996. Mid-Holocene littoral deposits at Pehuén Co Beach (38°30'S, 61°34'W, Buenos Aires Province). Geochronology and correlations. Proceedings of the Bahía Blanca International Coastal Symposium. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, pp. 265-271.
- González, M.A., H. Panarello, H. Marino & S. Valencio. 1983. Niveles marinos del Holoceno en el estuario de Bahía Blanca (Argentina). Isótopos estables y microfósiles calcáreos como indicadores paleoambientales. Actas Simposio oscilaciones del nivel del mar durante el último hemicycle de-glacial en Argentina, Mar del Plata, pp. 48-69.
- Gutiérrez-Téllez, B.M. & R.A. Schillizzi. 2002. Asociaciones de diatomeas en paleoambientes cuaternarios de la costa sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas Geoc.*, 29(1): 61-70.
- Isla, F.I. 1998. Holocene coastal evolution of Buenos Aires. In: J. Rabassa (ed.). Quaternary of South America and Antarctic peninsula. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, 11: 297-321.
- Isla, F.I. & G.G. Bujalesky. 2004. Morfodinámica de un estuario dominado por grava: Río Grande, Tierra del Fuego. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 59(2): 220-228.
- Isla, F.I., L.C Cortizo & E.J. Schnack. 1996. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires. *Quaternary Sci. Rev.*, 15(8-9): 833-841.
- Kleemann, K.H. 1973. Der Gesteinsabbau durch Ätzmuscheln an Kalkküsten. *Oecologia*, 13: 377-395.
- Lee, D.E., J. Scholz & D.P. Gordon. 1997. Paleocology of a late Eocene mobile rockground biota from North Otago, New Zealand. *Palaios*, 12: 568-581.
- Leymerie, A. 1842. Suite du mémoire sur le terrain Crétacé du Département de l'Aube. *Mem. S. Geo. F.*, 5: 1-34.
- Lundgren, B. 1891. Studier öfver fossilförande lösa block. *Geol. Foren. Stock. For.*, 13: 111-121.
- Mägdefrau, K. 1932. Über einige Bohrgänge aus dem Unteren Muschelkalk von Jene. *Paläont. Z.*, 14: 150-160.
- Martinell, J. 1989. Interacción organismos/sustrato duro: la bioerosión y sus implicaciones. In: E. Aguirre (coord.). Paleontología. Colección Nuevas Tendencias, Madrid, pp. 205-222.
- Martinell, J. & R. Domènech. 1995. Bioerosive structures on the Pliocene rocky shores of Catalonia (Spain). *Rev. Esp. Paleontol.*, 10: 37-44.
- Oschmann, W. 1990. Dropstones-rocky mini-islands in high-latitude pelagic soft substrate environments. *Senck. Marit.*, 21: 55-75.
- Rutter, N., U. Radtke & E.J. Schnack. 1990. Comparison of ERS and amino acid data in correlating and dating Quaternary shorelines along the Patagonian coast, Argentina. *J. Coastal Res.*, 6: 391-411.
- Rutter, N., E.J. Schnack, J. del Río, J.L. Fasano, F.I. Isla & U. Radtke. 1989. Correlation and dating of Quaternary littoral zones along the Patagonian coast, Argentina. *Quaternary Sci. Rev.*, 8: 213-234.
- Schellmann, G. & U. Radtke. 1997. Electron spin resonance (ESR) techniques applied to mollusc shells from South America (Chile, Argentina) and implications for palaeo sea-level curve. *Quaternary Sci. Rev.*, 16: 465-475.
- Schnack, E.J., J.L. Fasano & F.I. Isla. 1982. The evolution of Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires Province, Argentina. In: D.J. Colquhoun (ed.). Holocene sea level fluctuations: magnitudes and causes. IGCP 61, University of South Carolina, Columbia, pp. 143-155.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentary structures. In: J. Imbrie & N. Newell (eds.). Approaches to paleoecology. Wiley, Nueva York, pp. 296-316.
- Spagnuolo, J.O. 2005. Evolución geológica de la región costera-marina de Punta Alta, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 269 pp.
- Spagnuolo, J.O., E.A. Farinati & S. Aliotta. 2000. (CD-ROM) Tafonomía de *Brachidontes rodriguezii* (Bivalvia) de cordones costeros holocenos de Argentina. Profil, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart, 18(76): 1-6.
- Spagnuolo, J.O., E.A. Farinati & S. Aliotta. 2001. Análisis tafonómico de moluscos holocenos en el área costera del Estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Pesquisas Geoc.*, 28(1): 3-11.
- Taylor, P.D. & M.A. Wilson. 2003. Palaeocology and evolution of marine hard substrate communities. *Earth-Sci. Rev.*, 62: 1-103.
- Trebino, L.G. 1987. Geomorfología y evolución de la costa en los alrededores de San Blas, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 47(2): 243-249.
- Usui, A. & M. Someya. 1997. Marine Mn deposits in NW Pacific. In: K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buhn & S. Dasgupta (eds.). Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geological Society of London, Special Publication, 119: 177-198.
- Van Cappellen, P. & Y. Wang. 1996. Cycling of iron and manganese in surface sediments: a general theory. *Am. J. Sci.*, 296: 197-243.

- Voigt, E. 1965. Über parasitische Polychaeten in Kreide-Austern sowie einige andere in Muschel-schalen bohrende Würmer. *Paläont. Z.*, 39: 193-211.
- Voigt, E. 1977. On grazing traces produced by the radula of fossil and recent gastropods and chitons. In: T.P. Crimes & J.C. Harper (eds.). *Trace fossils*. *Geol. J. (Spec. Issue)*, 9: 335-346.
- Warme, J.E. 1975. Borings as trace fossils and the processes of marine bioerosion. In: R.W. Frey (ed.). *The study of trace fossils*. Springer-Verlag, New York, pp. 181-227.
- Weiler, N.E. 1980. Evolución costanera en el área del delta del río Colorado. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 35(3): 440-442.
- Weiler, N.E. 1983. Rasgos morfológicos evolutivos del sector costanero comprendido entre Bahía Verde e Isla Gaviota, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 38(3-4): 392-404.
- Weiler, N.E. 1993. Niveles marinos del pleistoceno tardío y Holoceno en Bahía Anegada, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 48(3-4): 207-216.
- Wilson, M. 1986. Coelobites and spatial refuges in a Lower Cretaceous cobble-dwelling hardground fauna. *Palaeontology*, 29(4): 691-703.
- Wilson, M. 1987. Ecological dynamics on pebbles, cobbles and boulders. *Palaios*, 2: 594-599.

Received: 14 September 2012; Accepted: 22 May 2013