

ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO DE PALEOCANALES EN EL SUBSUELO MARINO DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA

Darío A. GIAGANTE¹, Salvador ALIOTTA^{1,2} y Silvia S. GINSBERG^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET). CCT-Bahía Blanca.

E-mails: dariog@criba.edu.ar, gmaliott@criba.edu.ar, ginsberg@criba.edu.ar

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

³ Universidad Tecnológica Nacional, FRBB, Departamento de Ingeniería Civil. 11 de Abril 461, 8000-Bahía Blanca.

RESUMEN

La configuración morfológica del estuario de Bahía Blanca, al sur de la provincia de Buenos Aires, es el resultado de los procesos hidrológicos y sedimentarios vinculados a las variaciones cuaternarias del nivel del mar. A partir de relevamientos sísmicos de alta resolución (3,5 kHz), se analizan estructuras de paleocanales halladas en el subsuelo marino de los canales principal y Vieja. Los antiguos cauces han sido identificados en secuencias sismoestratigráficas diferentes. Así, los paleocauces localizados en el canal principal, están caracterizados por una superficie erosiva basal en "V", con un ancho máximo de 40 m en su sección superior. Los mismos pertenecen a una antigua cuenca hídrica, posiblemente relacionada al río Colorado. Estos cauces fueron sepultados por sedimentos fluviales-deltaicos, los cuales componen una estructura sísmica progradante. Otro conjunto de paleocanales, ubicados en el subsuelo del canal Vieja, tienen un diseño similar a los anteriores pero su longitud transversal es considerablemente mayor (350 m), y son vinculados con antiguos tributarios del arroyo Napostá. Su secuencia de relleno se ha depositado bajo condiciones fluviales, culminando su colmatación en un ambiente estuarino-marino. La existencia de estos paleocauces, en los cuales son frecuentes las acumulaciones gasíferas someras (*shallow gas*), evidencia un nivel de base del antiguo sistema de drenaje ubicado por debajo del nivel del mar actual. La sedimentación marina, producida por el proceso transgresivo-regresivo del Holoceno, originó el soterramiento de los cauces fluviales cercanos al mar, e intervino en la modificación de la red de drenaje costera.

Palabras clave: *Paleocanales, Sismoestratigrafía, Proceso transgresivo-regresivo Holoceno, Estuario de Bahía Blanca.*

ABSTRACT: *Seismostratigraphic analysis of paleochannels in the sub-bottom of the Bahía Blanca estuary.*

The morphological configuration of the Bahía Blanca estuary (southern Buenos Aires province) is the result of hydrologic and sedimentary events linked to Quaternary variations of the sea level. From high-resolution (3.5 kHz) seismic surveys, an analysis is performed of structures of paleochannels found in the sub-bottom of the Principal and Vieja channels. These channels have been identified in different seismostratigraphic sequences. The Principal channel is thus characterized by V-shaped erosive surfaces, with a maximum width of 40 m in their upper section. They would belong to an ancient hydrological river basin, possibly related to the Colorado river. These channels were buried by fluvio-deltaic sediments, which compose a prograding seismic structure. Another set of paleochannels (located in the Vieja channel), of a pattern similar to the previous ones but with a considerably greater widths (350 m), are associated with ancient tributaries of the Napostá creek. The filled sequence would have been deposited under fluvial conditions, finally silting in an estuarine-marine environment. These paleochannels, in which shallow gas accumulations are frequent, make evident that the base level of the ancient drainage system was located below the present sea level. The marine sedimentation, produced by the Holocene transgressive-regressive process, caused the burial of the fluvial channels near the sea, and induced the modification of the drainage network.

Keywords: *Paleochannels, Seismostratigraphy, Holocene transgressive-regressive process, Bahía Blanca estuary.*

INTRODUCCIÓN

Los procesos de erosión y sedimentación ocurridos durante el Cuaternario han conformado la morfología actual de la extensa región costera-marina desarrollada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires. En particular, el hallazgo de paleo-

canales en el subsuelo marino resulta una evidencia significativa para vincular los cambios del nivel del mar con la evolución costera de la zona.

El estuario de Bahía Blanca (Fig. 1a) se clasifica como un sistema mesomareal, cuya circulación es regida por una onda de marea semidiurna, con una amplitud

media de 3 m. Su canal principal de 60 km de longitud constituye la vía de acceso a complejos portuarios de importancia regional e internacional (Puerto de Ingeniero White, Puerto Galván, Puerto Belgrano). Las corrientes de flujo y reflujo poseen escasa dispersión angular y su valor máximo promedio integrado verti-

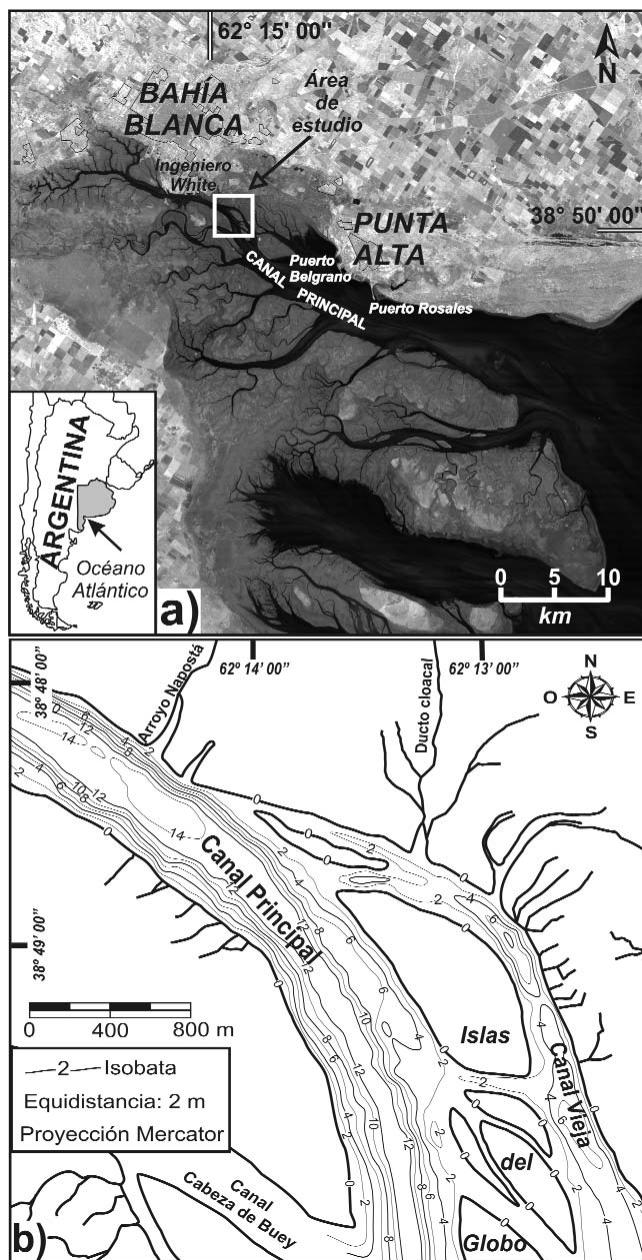


Figura 1: a) Estuario de Bahía Blanca; b) Mapa batimétrico del área de estudio.

calmente es del orden de 1m/seg (Nedeco-Arconsult 1983, Serman 1985). La configuración geomorfológica del área costera se caracteriza por una densa red de canales de marea, de variadas profundidades y dimensiones, en su mayoría de diseño meandriforme. Conjuntamente, numerosas islas de escasa altitud y amplias llanuras de marea limo arcillo arenosas, completan la fisonomía del sector. Además, a lo largo de la costa norte del estuario, se localizan pequeños cursos fluviales que desembocan en el sistema es-

tuarino. Los mismos corresponden a las cuencas hídricas de los ríos Sauce Grande y Sauce Chico, y de los arroyos Napostá y Saladillo de García.

Los eventos de ascenso y descenso del mar han sido identificados en varias investigaciones estratigráficas de ambientes fluvio-marinos. Estos trabajos incluyen la determinación y análisis sismoestratigráfico de paleocanales en diversos sectores costeros. Así, en la plataforma atlántica occidental, varios autores han identificado canales "sepultados" (*buried channels*)

en el subfondo marino (Anderson *et al.* 1992, Duncan *et al.* 2000, Mallinson *et al.* 2005, Nordfjord *et al.* 2005, Riggs *et al.* 1992). De la misma forma, estudios sísmicos de alta resolución, asociados a perforaciones y/o testigos y observaciones bioestratigráficas (Evans *et al.* 1992, Subba Raju *et al.* 1991, Tesson *et al.* 2005, Weber *et al.* 2004), han permitido reconocer estructuras de antiguos cursos fluviales, de gran interés para la interpretación de los procesos evolutivos ocurridos en los márgenes costeros.

En la costa argentina podemos citar el trabajo de Parker y Paterlini (1990), en el cual se menciona la existencia del paleocauce pre-Holoceno del río de la Plata. Las variaciones del nivel del mar caracterizaron el proceso evolutivo del antiguo valle fluvial (Cavallotto *et al.* 2004, Violante y Parker 2004).

Los procesos transgresivo-regresivos cuaternarios que actuaron sobre la costa de Bahía Blanca (Aliotta y Farinati 1990, Aliotta *et al.* 1991, 1996b) modificaron las condiciones hidrológicas, morfológicas y sedimentarias de los antiguos ambientes fluviales. Sobre la base de investigaciones fundamentadas en el análisis de perfiles, perforaciones y registros sísmicos, se han podido evidenciar antiguos eventos fluvio-marinos previos a la transgresión holocena (Aliotta *et al.* 1996a y b, 2002, 2004, Spagnuolo 2005, Giagante *et al.* 2005, Bricceño *et al.* 2005). Asimismo, en la plataforma contigua al sistema costero de Bahía Blanca, se ha reconocido un paleocanal vinculado a una antigua desembocadura del río Colorado (Aliotta *et al.* 1999). En el mismo contexto, Spalletti e Isla (2003) han puesto en evidencia la influencia de un antiguo proceso fluvial de gran desarrollo areal, al mencionar la existencia de un lóbulo deltaico no operativo (originado por un antiguo curso del río Colorado) ubicado en el área de Bahía Blanca.

La presente investigación tiene como finalidad analizar estructuras de paleocauces evidenciadas sísmicamente en el subfondo marino del estuario de Bahía Blanca, localizadas al sureste del puerto de In-

geniero White (Fig. 1a). Se definen las secuencias sísmicas, describiendo sus estructuras sedimentarias y correlacionando geológicamente las diversas unidades presentes. A su vez, se establece el origen de los antiguos cauces, analizando su proceso evolutivo.

MÉTODOS DE TRABAJO

La prospección sismo-acústica se realizó a través de la embarcación oceanográfica "Buen Día Señor" del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO). Durante la navegación se utilizó como base la carta H256 del Servicio de Hidrografía Naval y fotos aéreas georreferenciadas, controlando el posicionamiento de las derrotas en tiempo real por medio de un DGPS MAX.

Se realizó un relevamiento batimétrico empleando una ecosonda digital-analógica Bathy-500MF, de 200 kHz. Se efectuaron perfiles transversales y longitudinales a los canales principal y Vieja (Fig. 1b), con un espaciado medio de 100-150 m. Los datos de profundidad fueron grabados con una frecuencia de 2 segundos. En simultáneo con la batimetría, se efectuó la prospección sísmica de las secuencias del subsuelo marino con un perfilador de 3,5 kHz de alta resolución. La fuente de emisión fue un transmisor GEOPULSE 5430A, con 10 Kw de potencia máxima. Los datos se adquirieron en forma digital, mediante la utilización de un software específico.

En el gabinete los datos batimétricos fueron corregidos por marea. Las profundidades se refirieron al plano de reducción del mareógrafo del puerto de Ingeniero White, el cual pasa a 2,59 m por debajo del nivel medio del mar (n.m.m.).

El procesamiento y análisis de los sismogramas se realizó en base a: 1) identificación de superficies de discontinuidad; 2) terminación de los reflectores sísmicos: *onlap*, *toplap*, truncamiento erosivo; 3) configuración y diseño de los reflectores internos de las unidades; 4) espesor y continuidad de las secuencias identificadas. Para la estimación de los espesores sedi-

mentarios se utilizó una velocidad de sonido promedio de 1.650 m/s. La misma fue elegida en base a las secuencias sedimentarias definidas en este trabajo, y considerando las velocidades de propagación sísmica establecidas para diversos materiales (D'Olier 1979, Reynolds 1997).

RESULTADOS

Los datos batimétricos obtenidos posibilitaron definir la topografía submarina del área de estudio (Fig. 1b). En el sector considerado el canal principal presenta una orientación noroeste-sureste, con un leve arqueamiento en dirección sur. La misma alineación se manifiesta en el canal Vieja. Ambos canales se encuentran separados por altos topográficos, que conforman las denominadas islas del Globo. Estas áreas emergidas poseen extensiones variables entre los 1800 a 800 m de longitud y 600 a 50 m de sección transversal, y están cortadas por pequeños canales de marea de escasa profundidad (2 a 3 m).

En la zona estudiada, la máxima profundidad del canal principal es del orden de los 13 m. Estos valores son constantes a lo largo del canal debido a tareas de dragado. Los veriles sur y norte presentan una inclinación promedio de 3° y 5°, respectivamente. La superficie que configura el veril norte, en el trayecto adyacente a la mayor de las islas del Globo (Fig. 1b) y debajo de la cota de 8 m, se encuentra interrumpida por un nivel escarpado con pendiente aproximada de 3,2°. El recorrido del canal Vieja (Fig. 1b) evidencia una profundidad máxima de 9 m. Sus veriles están definidos por pendientes del orden de 2,9° para el lado norte, y de 1,3° para el extremo sur.

La secuencia basal (Fig. 2a, S₁), reconocible en toda el área de estudio, tiene reflectores internos escasamente definidos. No obstante, se ha podido observar una estratificación horizontal paralela, representada por líneas de escasa continuidad lateral, bien visibles en algunos sectores del subfondo del canal Vieja, y debajo del veril norte del canal principal. La unidad

S₁ aflora en el fondo de este último, apareciendo la superficie marina bien marcada y la penetración sísmica escasa. Sin embargo, debajo del lecho del canal principal se ha determinado una estructura cóncava asociada a un antiguo canal (Fig. 2b). El techo de esta secuencia sísmica, marcado por una superficie de discontinuidad, va disminuyendo gradualmente su profundidad en dirección noreste (hacia el continente).

En el sector suroeste del perfil sismoestratigráfico (Fig. 2a) se determinó una secuencia sedimentaria que posee una estructura interna conformada por reflectores con buzamiento aparente hacia el este (Fig. 2c, S_{2a}). El techo de esta secuencia tiene una terminación tipo *toplap* (Fig. 2c, t). En el veril norte del canal, el techo de S_{2a} presenta una serie de pequeños paleocanales con típico corte en "V" (Fig. 2a). Se ha observado que el espesor máximo de esta secuencia en el perfil X-Y es de 3 m, acunándose hacia el este.

El techo de S_{2a} es una superficie de discontinuidad bien marcada y continua a lo largo del perfil, sobre la cual se apoyan los sedimentos de la secuencia S_{2b} (Fig. 2a). Esta unidad presenta una amplitud mayor que S_{2a} y su límite lateral aparente se extiende hasta el veril sur del canal Vieja. El patrón de sedimentación refleja una inclinación hacia el noreste, constante a lo largo de toda la secuencia. A su vez, estos sedimentos rellenan paleocanales ubicados en el límite inferior de la unidad, cuya sección inferior manifiesta una configuración sísmica compleja y/o caótica, mientras que hacia arriba las estructuras de colmatación son levemente curvadas. Se ha medido un espesor máximo de 8 m para la secuencia S_{2b}, que se acuña hacia el este. Su techo está conformado por una discontinuidad acústicamente bien marcada y continua. Tanto S_{2a} como S_{2b} manifiestan un truncamiento erosivo de los estratos en ambos veriles del canal principal (Fig. 2a, e y 2c, e).

En el subfondo del canal Vieja se han hallado relevantes estructuras de paleocanales. La superficie que los conforma exhibe un diseño en "V" característico, y

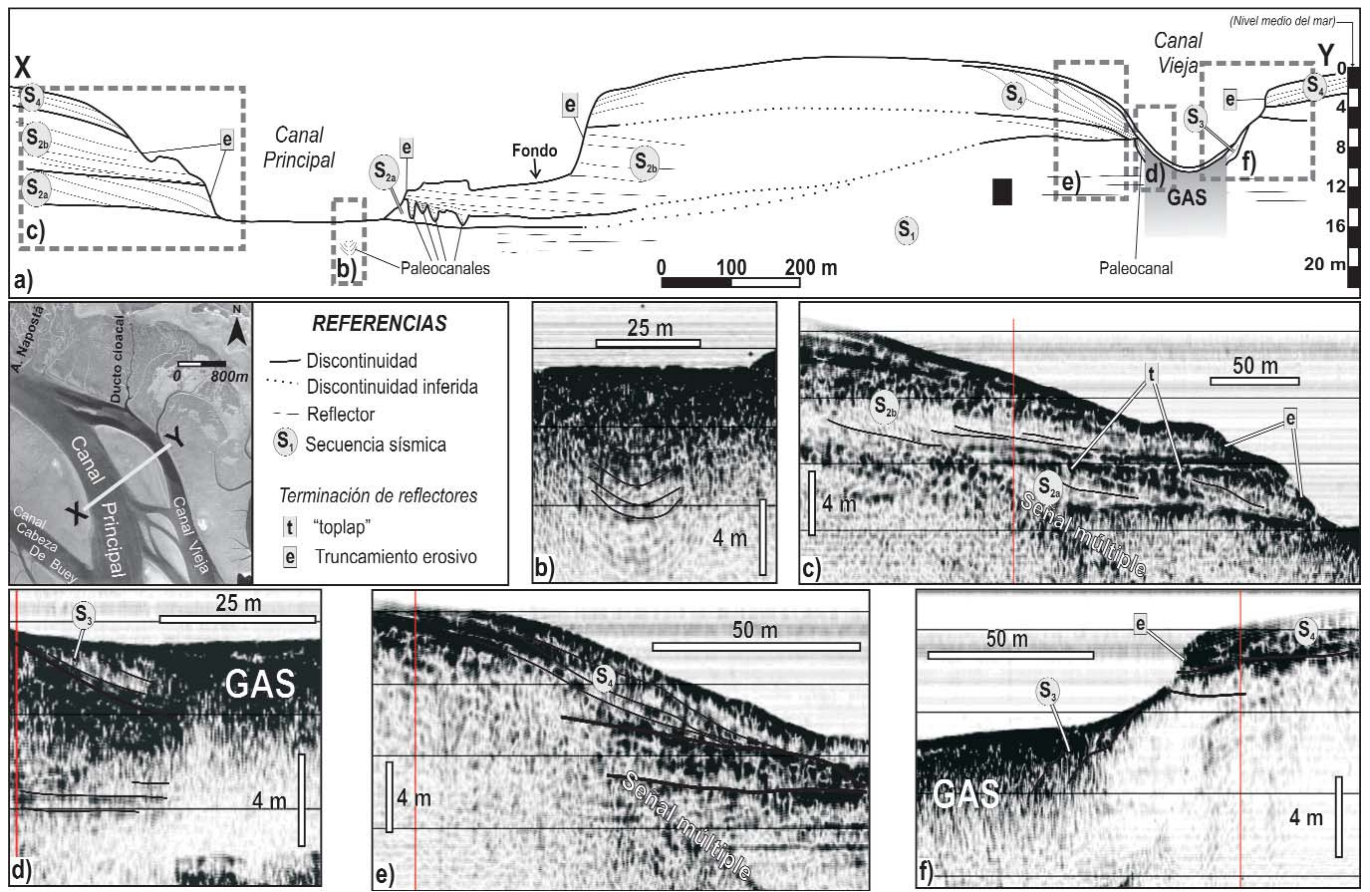


Figura 2: a) Perfil sismoestratigráfico; b), c), d), e) y f) Ejemplos de sismogramas.

en general es un reflector bien marcado. La inclinación de las pendientes laterales que delimitan los paleocauces es del orden de 2° a 3°. La secuencia de relleno de los mismos (Fig. 2a, S₃) presenta estructuras progradantes, con agradación lateral hacia el centro de los cauces (Fig. 2d). Si bien, en general, se ha observado que los reflectores dentro de S₃ poseen una inclinación similar a la tendencia adoptada por la superficie basal de los cauces, en algunos sectores la configuración sísmica resulta de tipo compleja. Frecuentemente, los sedimentos que componen S₃ tienen acumulaciones gasíferas de variadas dimensiones dependiendo del sector en que se encuentren. Las mismas, por su fuerte señal acústica, obstruyen la penetración de la onda sísmica, ocultando las estructuras presentes de los paleocanales e imposibilitando determinar el espesor aproximado de la secuencia S₃. La secuencia superior del perfil es de carácter regional y está representada por

sedimentos con estructuras progradantes (Fig. 2e, S₄), identificadas tanto al este como al oeste de los canales principal y Vieja. Su base es una superficie de discontinuidad, que en los veriles de los canales mencionados se inclina levemente en dirección a las máximas profundidades. Sobre el borde norte del canal Vieja, los reflectores de S₄ presentan un truncamiento erosivo (Fig. 2f, e), resaltado por la presencia de un pequeño escalón. En algunos sectores se puede distinguir una capa sedimentaria de poco espesor (menos de 1 m), propia de las condiciones (dinámicas y deposicionales) actuales. Con el objeto de analizar en detalle las estructuras de los paleocanales, los sismogramas fueron dispuestos conformando esquemas 3D, con lo cual se pudo establecer, no sólo su correlación geológica, sino también la trayectoria de los antiguos cursos. Particularmente, para el sector norte del canal Vieja (Fig. 3a), se define como más profunda la secuencia

S₁, con estratificación horizontal subparalela evidenciada por reflectores bien definidos, aunque de escasa continuidad. Para todo el sector en general, el espaciamiento entre las capas estratificadas horizontalmente es variable, no superando los 1,5 m, pero es notorio que hacia la parte superior la distancia entre reflectores es mayor. El espesor de esta unidad no se pudo determinar dado que no se observó su límite inferior. Los cortes erosivos en "V" generan un truncamiento de los estratos identificados en S₁. El techo de la secuencia se refleja como un trazo continuo y bien marcado, que tiende a somerizarse hacia la zona continental. Esto implica un buzamiento regional de esta superficie hacia el sur, que según trabajos previos (Aliotta y Farinati 1990, Aliotta *et al.* 1996b, Char *et al.* 1992) es de 0,1° - 0,2°. Sobre S₁ está labrado un paleocauce cuya sección transversal oscila aproximadamente entre 100 y 340 m. Su orientación

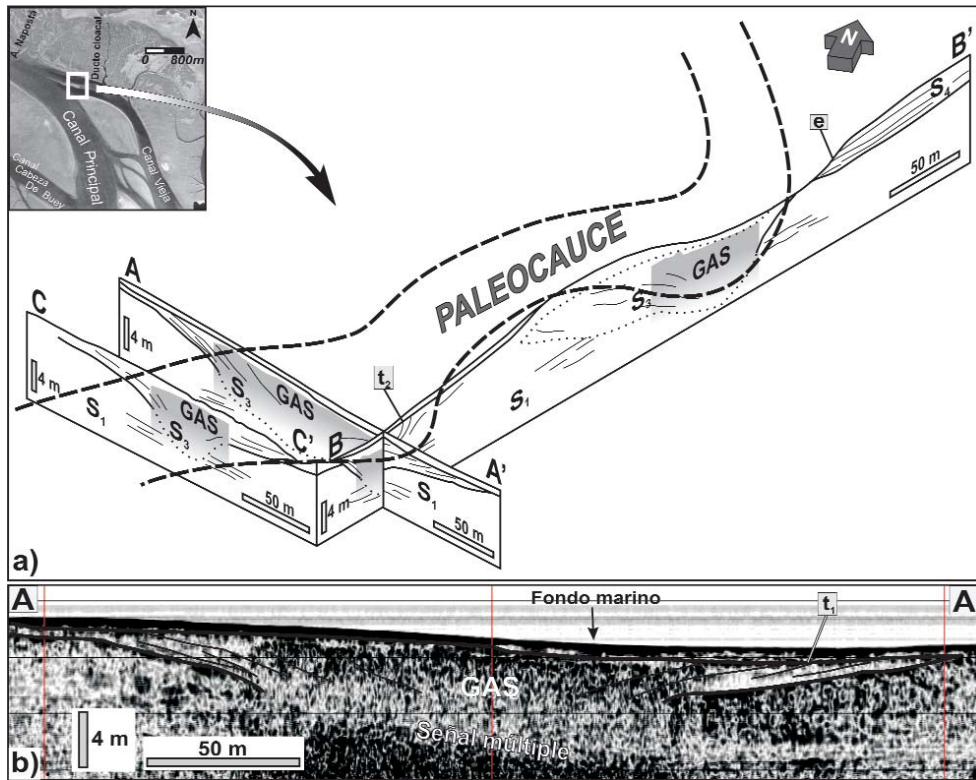


Figura 3: a) Esquema sismoestratigráfico 3D, S: secuencia sísmica, t: *toplap*, e: truncamiento erosivo; b) Registro sísmico, t: *toplap*.

es prácticamente norte-sur (Fig. 3a), aunque hacia el continente la alineación dominante es noroeste-sureste. Presenta un diseño levemente meandriforme. En la figura 3b se pueden observar las superficies inclinadas que delimitan el antiguo cauce. Las pendientes son del orden de los 3° para el flanco izquierdo, mientras que para el derecho los valores son levemente menores (2°). Un detalle particular es la ocurrencia de acumulaciones de gas en el sector más profundo del paleocauce. El gas se concentra cerca de la superficie del fondo marino y debido al enmascaramiento que genera su señal acústica, no se ha podido determinar la profundidad del cauce. La extensión del depósito gasífero varía entre 35 y 150 m, dependiendo del sector en que se encuentre.

El material de relleno del antiguo cauce (Fig. 3a, S₃) permite ver débiles reflectores oblicuos y subparalelos a la discontinuidad de la base. La inclinación de las líneas es hacia la zona de mayor profundidad del paleocanal. Estas estructuras son cortadas en su tramo superior por una superficie erosiva, evidenciado por terminaciones *toplap* (Fig. 3b, t₁) de los re-

flectores. En el extremo sur del perfil B-B' se ponen de manifiesto reflectores levemente curvados con la concavidad hacia arriba, observándose aquí también culminaciones tipo *toplap* hacia el techo de S₃ (Fig. 3a, t₂). En el trayecto medio del perfil, se evidencian estructuras inclinadas subparalelas y progradantes hacia el centro del cauce. En el veril norte del canal Vieja se determinó la secuencia S₄, que posee estratificación horizontal subparalela, y alcanza una potencia de 4 m. Estos sedimentos se encuentran truncados erosivamente (Fig. 3a, e), conformando una escarpa de 4 m.

En el sector sur del canal Vieja se ha verificado la existencia de dos paleocauces (Fig. 4a). La unidad más profunda del área (Fig. 4a, S₁) exhibe reflectores horizontales paralelos discontinuos, correlacionables con los descritos en la figura 3a. Estas antiguas estructuras fluviales también reflejan un típico corte erosivo en "V", con pendientes laterales del orden de los 3°. Una particularidad de las trayectorias de estos paleocanales es que se unen hacia el sur. El paleocauce ubicado más al este está orientado según un

rumbo noreste-suroeste. En su base se ha encontrado un alto topográfico de aproximadamente 40 m de extensión (Fig. 4b). El ancho aparente, medido entre los quiebres de las pendientes que configuran la "V", promedia los 180 m. El otro paleocauce, emplazado en el límite oeste del sector de estudio, mantiene una trayectoria noroeste-sureste y su sección transversal promedia los 90 m. Un detalle característico y común en los paleocanales de este sector es la manifestación de acumulaciones de gas que ocultan parcial o totalmente las estructuras subyacentes. El gas se concentra en sedimentos cercanos a la superficie del fondo, y se encuentra posicionado donde la superficie erosiva basal de los cauces antiguos adopta una estructura cóncava. La longitud de estos depósitos gasíferos oscila entre 80 y 250 m. La acumulación de gas con mayor desarrollo ocurre en el extremo sur, es decir hacia el veril sur del canal Vieja (Fig. 4a).

La secuencia que conforma el relleno de los paleocauces revela un proceso de colmatación de los mismos caracterizado por estructuras sedimentarias progradan-

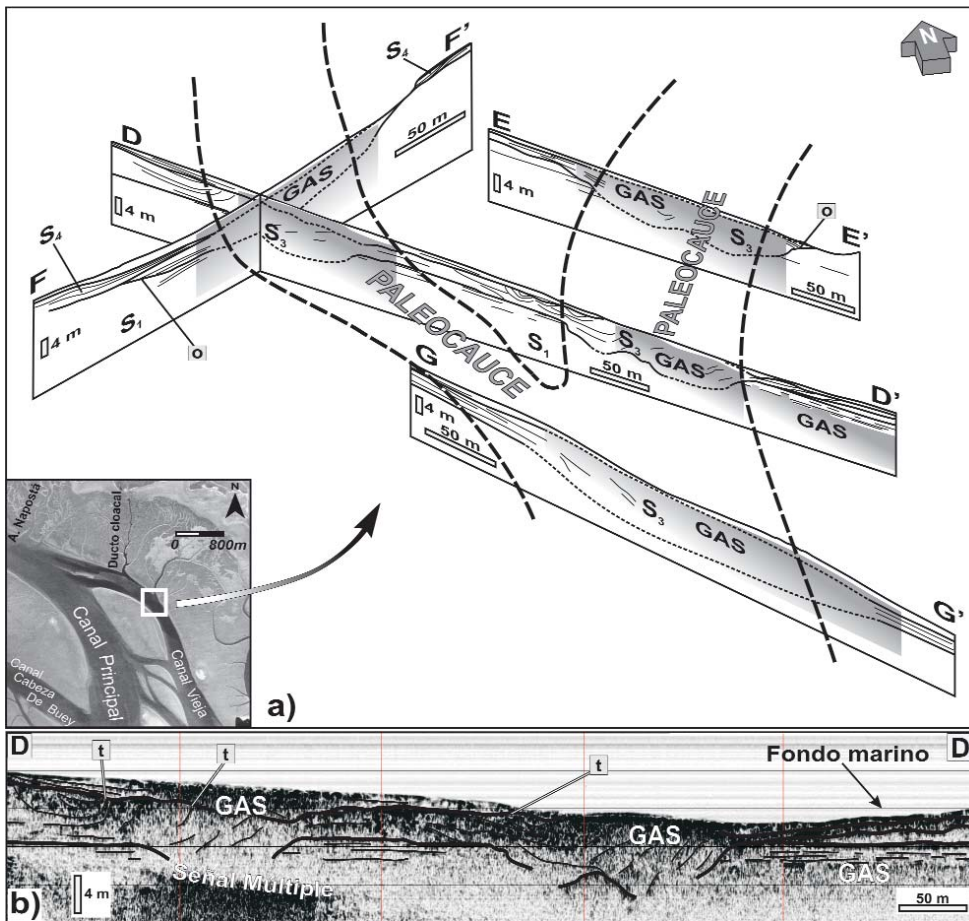


Figura 4: a) Esquema sismoestratigráfico 3D, S: secuencia sísmica, o: *onlap*; b) Registro sísmico, t: *toplap*.

tes (Fig. 4a, S₃). No obstante, los reflectores internos presentan variadas configuraciones entre las cuales son comunes la estratificación oblicua subparalela, líneas levemente curvadas con la concavidad hacia arriba y diseños complejos. Se determinaron terminaciones *onlap* (Fig. 4a, o) donde los reflectores son acotados por los límites laterales de la unidad S₃, mientras que hacia el techo de la secuencia, constituido por una superficie de discontinuidad erosiva, el truncamiento de los reflectores evidencia diseños *toplap* (Fig. 4b, t).

Desde el veril sur del canal Vieja, se deposita una secuencia (Fig. 4a, S₄) con reflectores progradantes hacia el centro del canal. Se sitúa, en parte, sobre la unidad en la cual se labraron los paleocauces y por otro lado sobre la secuencia que constituye el relleno de los mismos. En el veril norte, también se observan estructuras progradantes, con continuidad hacia el sector costero. La erosión de este

estrato configura un escalón de 2 m de desnivel.

En algunos sectores, se observa una delgada capa de sedimentos recientes (hasta 1 m). En esta unidad se han reconocido algunas estructuras levemente inclinadas, siguiendo la topografía preexistente.

En el subfondo del canal principal se evidenciaron paleocauces de configuración similar a los descritos anteriormente, aunque de dimensiones notablemente menores (Fig. 5a) y de alineación noroeste-sureste. Se encuentran cercanos entre sí y sus medidas varían entre 20 y 40 m de ancho, y 2 a 4 m de profundidad. La superficie erosiva basal de estos antiguos cauces está labrada sobre S_{2a}; no obstante, hacia el sur, la base de algunos paleocauces incide la secuencia S₁. La unidad S_{2a} presenta una respuesta sísmica difusa que impide distinguir con claridad sus estructuras internas. El límite entre S₁ y S_{2a}, dado por una superficie de discontinuidad, tiende a somerizarse hacia el este

y hacia el sur.

La unidad depositada en los cauces (Fig. 5a, S_{2b}) refleja estructuras de relleno de tipo complejo y divergente (según la clasificación de Mitchum *et al.* 1977). Además, dentro de los canales, es evidente la presencia de estructuras curvadas, cóncavas hacia arriba, con terminaciones *onlap* (Fig. 5b, o) donde los reflectores del relleno finalizan en las pendientes que delimitan los paleocauces. En la parte superior de los paleocanales, donde los mismos presentan su mayor extensión, los reflectores adquieren un diseño ligeramente curvado a recto, y se disponen con una inclinación aparente hacia el este. Este patrón se continúa hacia arriba hasta el tope de la secuencia, que en este sector lo representa la superficie del fondo marino. Un detalle particular es el escalón topográfico de 7 m en el sector oeste (Fig. 5a), cuya base se corresponde con el límite entre S₁ y S_{2a}.

La distribución en planta de los paleoca-

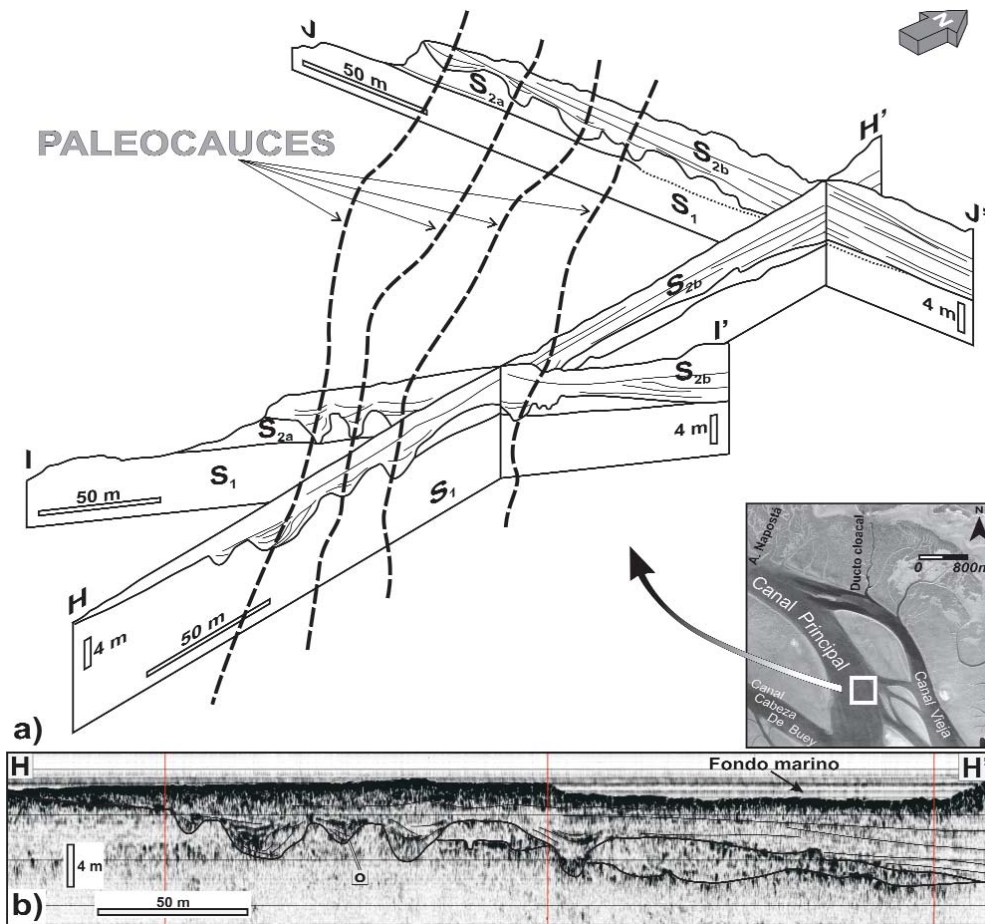


Figura 5:a) Esquema sismoestratigráfico 3D, S: secuencia sísmica; b) Registro sísmico, o: *onlap*.

nales hallados ha sido esquematizada en un mapa (Fig. 6). La orientación general de las trayectorias es noroeste-sureste y noreste-suroeste. La mayoría de los paleocanales parecen estar ligados al sector costero norte, salvo aquellos identificados en el subsuelo del canal principal, de orientación noroeste-sureste. Otro rasgo importante, evidenciado sísmicamente, son las manifestaciones de acumulaciones gasíferas, mayores hacia el extremo noroeste, y menores en el centro y centro-este del mapa. En numerosos sectores del subsuelo, los paleocanales y el gas están vinculados, particularmente en el canal Vieja.

DISCUSIÓN

La caracterización litológica de las secuencias sísmicas definidas en el subfondo de los canales principal y Vieja resulta necesaria para la interpretación estratigráfica del sector. Por ello, se utilizaron

datos de dos perforaciones (Nedeco-Arcconsult 1983), obtenidos durante las tareas de profundización del canal de acceso a los puertos de Bahía Blanca. De la correlación de estas perforaciones (P1 y P2) con las unidades identificadas en los sísmogramas (Fig. 7), surge que los materiales más profundos se corresponden con una arcilla limosa dura, de coloración marrón clara, cuya estructura interna se manifiesta sísmicamente difusa. Debido a las características de este sedimento, reconocido en el interior del estuario (Aliotta *et al.* 1996a y b, 2004) y en la parte más externa, frente a la localidad de Punta Alta (Spagnuolo 2005), se le relaciona a la Formación Arroyo Chasicó, de amplia difusión al oeste de Bahía Blanca (Pascual 1961). En la zona de esta investigación, el techo de la formación se halla a una profundidad promedio de 18 m, coincidiendo con lo enunciado por Aliotta *et al.* (1992) y Lizasoain y Aliotta (1995).

La columna sismoestratigráfica continúa hacia arriba con un limo arenoso arcilloso cementado, de color marrón claro, que contiene niveles arcillosos compactados. Su configuración acústica es semi-transparente, aunque en determinados sectores se observan reflectores horizontales subparalelos de débil respuesta. Este sedimento compactado actúa como basamento acústico y constituye la secuencia S_1 (Fig. 2a). Como se aprecia en los registros sísmicos (Fig. 7), la unidad se encuentra aflorante en el fondo del canal principal, ya sea naturalmente o debido a las actividades de dragado. Concordantemente a lo señalado por Lizasoain y Aliotta (1995), esta sedimentita se vincula con la Formación Pampiano (Fidalgo *et al.* 1973). Asimismo, en trabajos previos (Aliotta *et al.* 1991, Aliotta *et al.* 1992, Aliotta y Lizasoain 1998, Spagnuolo 2005) se han reconocido materiales con características similares a las descriptas. En el subfondo del canal principal, den-

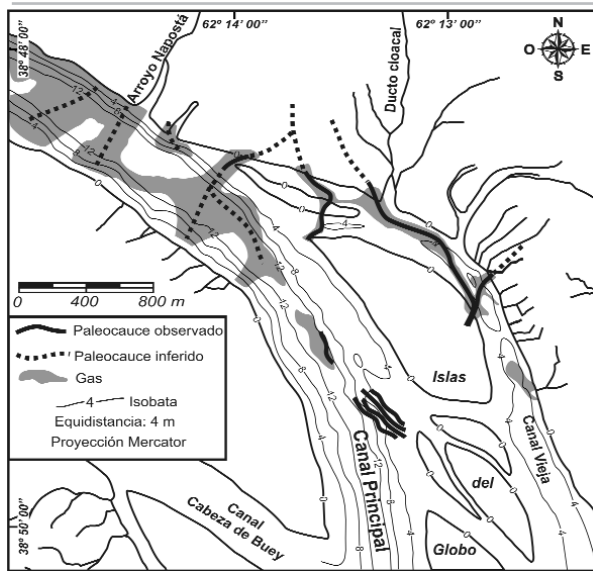


Figura 6: Distribución en planta de los paleocauces y las concentraciones de gas.

tro de S_1 , se observaron estructuras concavas hacia arriba que son relacionadas a un paleocanal (Fig. 2b).

El techo de la secuencia S_1 está marcado por una superficie de discontinuidad, que va disminuyendo gradualmente su profundidad en dirección noreste, hacia el continente. Así, en el sector del canal Vieja, S_1 se encuentra a menor distancia del fondo marino y está representada por arcillas limo arenosas grises, medianamente compactas. El carácter sismoestratigráfico de dicha discontinuidad (intensidad de respuesta acústica, continuidad lateral) es indicativo que sobre la misma habrían actuado los procesos erosivos y deposicionales que se sucedieron posteriormente. Al respecto, en la plataforma submarina argentina, Osterrieth *et al.* (2005), han documentado la exposición subaérea de niveles asociados al límite Pleistoceno-Holoceno, en base a indicadores de niveles edáficos y paleoedáficos (silicofitolitos).

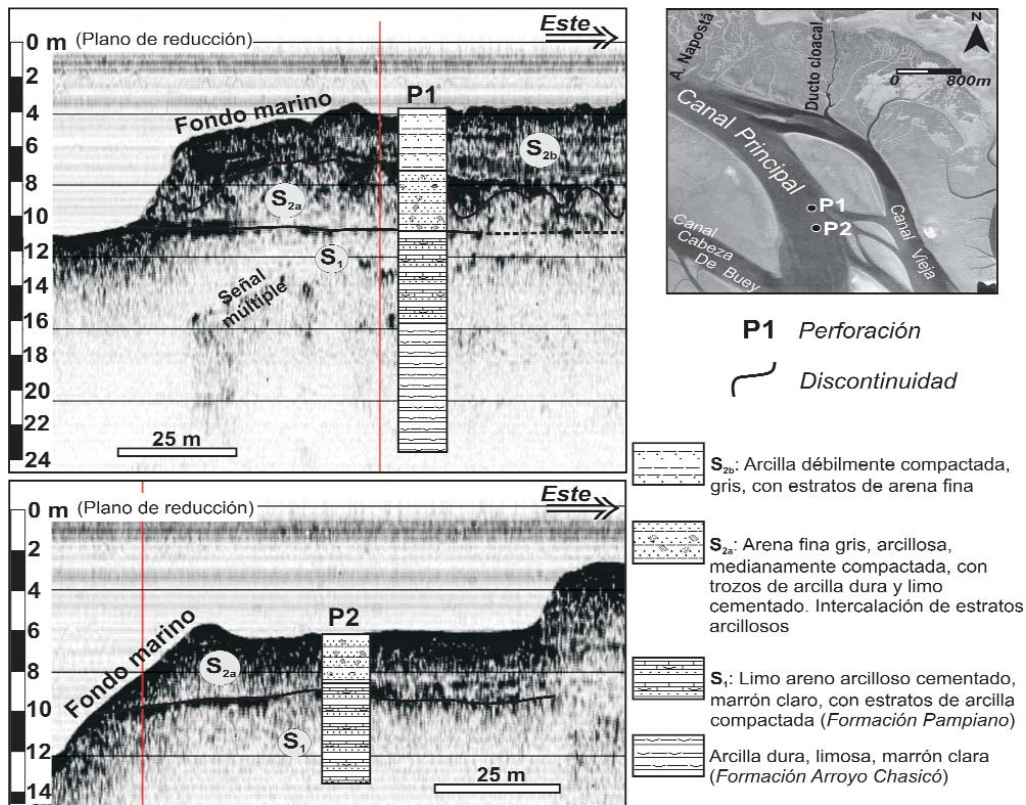
Por arriba de los materiales asignados a la Formación Pampiano se localiza una arena fina arcillosa, grisácea y medianamente compactada, que representa a la secuencia sismoestratigráfica S_{2a} (Fig. 2a). El contacto con la secuencia inferior es a través de una superficie de discontinuidad sísmicamente bien definida. En esta unidad se han descrito trozos de arcilla dura y de limo cementado, lo cual indica

un proceso erosivo del sustrato subyacente, realizado probablemente por un agente de mediana a alta energía, con gran influencia fluvial. En el veril oeste del canal principal, S_{2a} refleja una estructura interna inclinada y progradante hacia el este, indicando un sentido aparente de avance de la sedimentación. El techo de la secuencia está delimitado por una discontinuidad erosiva, caracterizada por estructuras de paleocanales (Fig. 5a) con típico corte en "V". Los pequeños paleocauces demuestran un nuevo proceso erosivo fluvial sobre los sedimentos inferiores, ratificado por la terminación *toplap* (Fig. 2c, t) de los reflectores internos de S_{2a} .

Sobre el techo de S_{2a} se encuentra un paquete sedimentario representado por la secuencia S_{2b} (Fig. 2a), caracterizada por sedimentos arcillosos, de compactación débil y coloración gris, con intercalaciones de estratos de arena fina. La sección inferior de esta unidad rellena los pequeños cauces ubicados en la base de la misma, y allí su configuración sísmica es compleja y/o caótica, diseño, en particular este último, que ha sido interpretado por Riggs *et al.* (1992), Nordfjord *et al.* (2005) y Mallinson *et al.* (2005), como una sedimentación de grano grueso. El límite lateral aparente de esta secuencia se extendería hasta el veril sur del canal Vieja, donde se produce un acuñamiento de la

unidad. Se infiere que antes de la deposición de S_{2b} , pudo haber existido un lapso considerable en donde el techo de S_{2a} actuó como una plataforma expuesta a factores erosivos. La estructura interna delata una colmatación de los pequeños paleocanales y por encima una estratificación inclinada hacia el este. Por la extensión y estructuras sedimentarias de los materiales que constituyen las unidades S_{2a} y S_{2b} , consideramos que dichas secuencias habrían sido depositadas bajo un paleoambiente fluvio-deltaico, del cual se han encontrado evidencias en otras zonas del estuario (Aliotta *et al.* 1991, 1996a, 2004). Dichas secuencias, habrían sido afectadas por escasos pulsos de reactivación fluvial y períodos de exposición subaérea, evidenciado por los pequeños paleocanales originados a partir de tributarios menores o vías de escurrimiento efímeras. Dentro del contexto ambiental deltaico, los depósitos que conforman a S_{2a} y S_{2b} podrían vincularse con sedimentos correspondientes a la antigua cuenca hídrica del río Colorado. Esta hipótesis es concordante con lo establecido por Spalletti e Isla (2003) quienes ubican en el área del presente estudio, un antiguo lóbulo deltaico del Colorado, actualmente inactivo y en continuo estado de destrucción por mareas. Asimismo, Aliotta *et al.* (1999) mencionan, en la zona externa del estuario de Bahía Blanca y Bahía Anegada, sedimentos limo-arcillosos correspondientes a un amplio paleoambiente deltaico de vasta difusión regional, asociado al mencionado río.

Se infiere a través de las características sísmicas que la secuencia S_3 estaría compuesta por sedimentos arenosos, con ciertas proporciones de limo y arcilla. Esta unidad representa el relleno de paleocanales evidenciados sísmicamente en el subsuelo marino del canal Vieja. Estos paleocauces, dada su posición dentro de la columna estratigráfica, no parecerían tener relación con aquellos encontrados en el canal principal, y han sido asociados a antiguos tributarios del arroyo Napostá (Giagante *et al.* 2005), durante períodos donde el mar se encontraría en cotas in-



feriores a la actual.

Las estructuras dentro del relleno de los paleocanales denotan un evento evolutivo de colmatación, asociado a un cambio en la antigua red de drenaje, seguramente influenciado por la transgresión marina holocena. El avance marino, generó un importante aporte sedimentario bajo condiciones estuarinas. Violante y Parker (2000), estudiando las regiones marinas y costeras del nordeste de la provincia de Buenos Aires, indican que el cambio climático que indujo a la última transgresión generó un déficit de aportes sedimentarios (como producto del permanente ajuste del nivel de base) que causó el entrapamiento de sedimentos en antiguos cursos fluviales hoy sumergidos. Basados en las estructuras de estos rellenos, consideramos que los paleocanales identificados en el área de estudio fueron sepultados en un primer momento por sedimentos fluviales. Al respecto, Riggs *et al.* (1992) mencionan que, ante una elevación del mar, el dominio del relleno de un cauce es fluvial en primer término y estuarino después. En concordancia con lo

expresado, inferimos que la colmatación de los paleocauces habría continuado con sedimentos fluvio-estuarinos y culminando la secuencia con depósitos marinos. Tesson *et al.* (2005) mencionan para el golfo de Lion, que los sedimentos depositados dentro de canales antiguos que muestran lateralmente estructuras acrecionales con reflectores divergentes, sugieren un ambiente estuarino y sus equivalentes laterales marinos y fluviales. Instalado en la región un ambiente predominantemente marino, propio del evento transgresivo Holoceno, se depositó la secuencia S₄, que representa al depósito más moderno del área en estudio constituido por una arcilla arenosa blanda, de coloración gris, característica en las amplias llanuras costeras del estuario. Los sedimentos de S₄ constituyen estructuras progradantes que fueron identificadas tanto al este como al oeste de los canales principal y Vieja.

La visualización de acumulaciones gasíferas en los sísmogramas es posible dada la diferencia de impedancia acústica entre sedimentos con gas y aquellos que no lo

contienen (Stefanon 1985). Investigaciones recientes en el subfondo del estuario de Bahía Blanca han evidenciado la presencia de sedimentos gasíferos (Aliotta *et al.* 2002, 2006, Briceño *et al.* 2005). Su distribución es variada, concentrándose en pequeños bolsones hasta grandes depósitos de cientos de metros de extensión (Fig. 6). A su vez, en numerosos sectores, se ha constatado la presencia de gas coincidente con estructuras fluviales antiguas (Briceño *et al.* 2005, Giagante *et al.* 2005, 2006).

De acuerdo a la experiencia en otros ambientes similares, el gas encontrado en los sedimentos marinos está constituido principalmente por metano (Davis 1992, Floodgate y Judd 1992, Premchitt *et al.* 1992, Aliotta *et al.* 2006). Su formación se atribuye a procesos de degradación y transformación por actividad bacteriana de materia orgánica de origen continental. Sobre la base de la asociación paleocanal-gas (Fig. 6) podemos inferir que la materia orgánica fue aportada a través de los tributarios de la antigua red de drenaje costera.

CONCLUSIONES

En el subsuelo marino de la región sureste del puerto de Ing. White (canal Vieja y canal principal) se han evidenciado estructuras de paleocanales identificadas en unidades sismoestratigráficas diferentes. La base en la que se desarrollaron los procesos erosivos fluviales y posteriormente se depositaron las secuencias sedimentarias, la constituye un limo arenoso arcilloso compactado de coloración marrón, perteneciente a las Formaciones Pampiano y Arroyo Chasicó. El techo de la unidad, se manifiesta como una superficie de discontinuidad, que sufrió un relevante proceso erosivo con probables períodos de exposición subaérea.

Secuencias sedimentarias de carácter regional, sísmicamente distinguibles en los veriles del canal principal y con estratificación buzante hacia el noreste, se asocian a un paleoambiente de sedimentación fluvio-deltaico, vinculado a la antigua cuenca del río Colorado. Una arena fina, arcillosa y medianamente compactada caracteriza a la unidad inferior, mientras que la superior está representada por arcillas débilmente compactas con intercalaciones de arena fina. Una serie de pequeños paleocanales evidencian la reactivación de pulsos fluviales y períodos de exposición subaérea.

Por otra parte, antiguos tributarios de la cuenca hídrica del arroyo Napostá configuraron los paleocauces presentes en el subsuelo del canal Vieja, los cuales, rellenos de arena fina-limosa, representan un nivel del mar más bajo que el actual. La secuencia deposicional determinada indica que los mismos fueron "sepultados" bajo condiciones paleoambientales fluvio-estuarinas.

La asociación gas-paleocanales es un rasgo frecuente principalmente evidenciado en los sismogramas del canal Vieja. Los yacimientos gasíferos se concentran cerca de la superficie del fondo marino, y fueron originados a partir de la degradación bacteriana de materia orgánica de origen básicamente continental, transportada por los antiguos canales fluviales.

El cambio de las condiciones hidrosedimentológicas debido al proceso transgresivo-regresivo marino del Holoceno, ha sido el causante de la migración y modificación de la antigua red de drenaje costera. El avance de la sedimentación marina junto con el retrabajo y redistribución de sedimentos fluviales favoreció el relleno de los paleocauces bajo un entorno estuarino, y consecuentemente la modificación de la red de drenaje constituida por los antiguos tributarios del arroyo Napostá.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Lic. G. Lizasoain en las diversas tareas relacionadas al relevamiento sísmico. Por su colaboración en las campañas, a los licenciados L. Vecchi y W. Briceño. A los responsables de la embarcación Buen Día Señor: C. Bernárdez y A. Conte. Por su asistencia al Dr. J. Spagnuolo y a R. Zibecchi, así como al personal del laboratorio de Geología Marina del Instituto Argentino de Oceanografía. Se agradece a los doctores F. Isla y R. Violante por sus valiosas sugerencias en el arbitraje de este trabajo. El presente trabajo fue financiado con los siguientes subsidios: 1) Proyecto 189 Departamento de Ciencias Naturales, UNLPamp.; 2) PGI 24/ZH11-H084 Secretaría de Ciencia y Técnica, UNS; 3) PIP 5538, CONICET.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Aliotta, S. y Farinati, E. 1990. Stratigraphy of Holocene sand-shell ridges in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology* 94: 353-360.

Aliotta, S. y Lizasoain, G.O. 1998. Facies sísmicas someras (3,5 kHz) en el sector interno del estuario de Bahía Blanca, Argentina. 10º Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 55-60, Buenos Aires.

Aliotta, S., Lizasoain, G.O. y Lizasoain, W. 1991. Sedimentología y paleoambientes cuaternarios en el sector interno del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Univer-*

sidad Autónoma de México 18(1): 99-107.

- Aliotta, S., Lizasoain, G.O. y Lizasoain, W. 1992. Sedimentos subsuperficiales entre Puerto Galván e Ing. White, canal principal del estuario de Bahía Blanca, Argentina. 3º Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 213-217, La Plata.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O. y Lizasoain, W. 1996a. Facies fluvio-estuarina en el subsuelo del canal de acceso al Puerto de Ingeniero White, Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 3(2): 43-53.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O., Lizasoain, W. y Ginsberg, S.S. 1996b. Late Quaternary Sedimentary Sequence in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research* 12(4): 875-882.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O., Ginsberg, S.S. y Gelós, E.M. 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. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 6(1-2): 19-35.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O. y Ginsberg, S.S. 2002. Hallazgo de acumulaciones de gas con sísmica de alta resolución en sedimentos del Estuario de Bahía Blanca, Argentina. 15º Congreso Geológico Argentino, Actas: 315-318, El Calafate.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O. y Ginsberg, S.S. 2004. Dinámica sedimentaria y evolución morfológica de un profundo canal del estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(1): 14-28.
- Aliotta, S., Ginsberg, S.S., Briceño, W., Vecchi, L. y Giagante, D. 2006. Yacimiento gasífero somero en el subsuelo marino de la región de Bahía Blanca. 23º Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Resúmenes: 35, Bahía Blanca.
- Anderson, J.B., Thomas, M.A., Siringan, F.P. y Smyth, W.C. 1992. Quaternary Evolution of the East Texas Coast and Continental Shelf. *Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems*, Society for Sedimentary Geology Special Publication 48: 253-263.
- Briceño, W., Aliotta, S. y Farinati, E. 2005. Sedimentos gasíferos en el subsuelo de los puertos de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. 16º Congreso Geológico Argentino,

- Actas 5: 283-288, La Plata.
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Parker, G. 2004. Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). *Quaternary International* 114: 155-165.
- Chaar, E., Farinati, E., Aliotta, S. y Tassone, A. 1992. Pleistoceno marino al sur de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. 3° Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas 59-62, La Plata.
- Davis, A.M. 1992. Shallow gas: an overview. En Davis, A.M. (ed.) *Methane in marine sediments*, *Continental Shelf Research* 12(10): 1077-1079.
- D'Olier, B. 1979. Side scan sonar and reflection seismic profiling. En Dyer, K.R. (ed) *Estuarine Hydrography and sedimentation*. Cambridge University Press, 57-86 p. Cambridge.
- Duncan, C.S., Goff, J.A., Austin Jr, J.A. y Fulthorpe, C.S. 2000. Tracking the last sea-level cycle: seafloor morphology and shallow stratigraphy of the latest Quaternary New Jersey middle continental shelf. *Marine Geology* 170: 395-421.
- Evans, K.G., Stephens, A.W. y Shorten, G.G. 1992. Quaternary sequence stratigraphy of the Brisbane River delta, Moreton Bay, Australia. *Marine Geology* 107: 61-79.
- Fidalgo, F., de Francesco, F.O. y Colado, U.R. 1973. Geología superficial en las Hojas Castelli, J.M., Cobo y Monasterio (Provincia de Buenos Aires). 5° Congreso Geológico Argentino (Villa Carlos Paz), Actas 4: 27-39, Buenos Aires.
- Floodgate, G.D. y Judd, A.G. 1992. The origins of shallow gas. En: Davis, A.M. (ed.) *Methane in marine sediments*, *Continental Shelf Research* 12(10): 1145-1156.
- Giagante, D., Aliotta, S. y Ginsberg, S.S. 2005. Evidencia sísmica de paleocanales en el subsuelo del estuario de Bahía Blanca, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 809-816, La Plata.
- Giagante, D., Aliotta, S. y Ginsberg, S. 2006. Acumulaciones gasíferas asociadas a estructuras de paleocanales en el subfondo del estuario de Bahía Blanca. 6° Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Resúmenes: 203, Puerto Madryn.
- Lizasoain, G.O. y Aliotta, S. 1995. Fondo rocoso en el canal de navegación del estuario de Bahía Blanca, Argentina. 4° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 1: 295-303, Junín.
- Mallinson, D., Riggs, S., Thieler, E.R., Culver, S., Farrell, K., Foster, D.S., Corbett, D.R., Horton, B. y Wehmiller, J.F. 2005. Late Neogene and Quaternary evolution of the northern Albatraz Embayment (mid-Atlantic continental margin, USA). *Marine Geology* 217: 97-117.
- Mitchum, J.R., Vail, R.M. y Sangree, P.R. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. En Payton, Ch.E. (ed.) *Seismic Stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26: 117-134, Tulsa.
- Nedeco-Arconsult. 1983. Estudio de dragado del canal de acceso al Puerto de Bahía Blanca. Informe Geotécnico. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, 105 p., Bahía Blanca.
- Nordfjord, S., Goff, J.A., Austin Jr, J.A. y Sommerfield, C.K. 2005. Seismic geomorphology of buried channel systems on the New Jersey outer shelf: assessing past environmental conditions. *Marine Geology* 214: 339-364.
- Osterrieth, M., Violante, R.A. y Borrelli, N. 2005. Evidencias de exposición subaérea de la plataforma submarina durante la transición Pleistoceno-Holoceno. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 801-808, La Plata.
- Parker, G. y Paterlini, M. 1990. Apantallamientos acústicos en sedimentos gasíferos del río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45(1-2): 17-28.
- Pascual, R. 1961. Un nuevo *Cardiomyinae* (*Rodentia*, *Caviidae*) de la Formación Arroyo Chasicó (Plioceno inferior) de la Provincia de Buenos Aires. *Consideraciones Geológicas*. *Ameghiniana* 2(4): 61-71.
- Premchitt, J., Rad, N.S., To, P., Shaw, R. y James, W.C. 1992. A study of gas in marine sediments in Hong Kong. En Davis, A.M. (ed.) *Methane in marine sediments*, *Continental Shelf Research* 12(10): 1251-1264.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd., 778 p, Chichester.
- Riggs, S.R., Cork, L.L., Wehmiller, J.F. y Zinder, S.W. 1992. Depositional Patterns Resulting from High-frequency Quaternary Sea-level Fluctuations in Northeastern North Carolina. *Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems*, Society for Sedimentary Geology Special Publication 48: 141-153.
- Serman, D. 1985. Características de la marea en Bahía Blanca. *Boletín Centro Naval* 103: 51-74.
- Spagnuolo, J.O. 2005. Evolución geológica de la región costera-marina de Punta Alta, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, inédito, 269 p., Bahía Blanca.
- Spalletti, L.A. e Isla, F.I. 2003. Características y evolución del delta del río Colorado ("Colú-Leuvú"), provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10(1): 23-37.
- Stefanon, A. 1985. Marine sedimentology through modern acoustical methods: II. Uniboom. *Bolletino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 3: 2.
- Subba Raju, L.V., Krishna, K.S. y Chaubey, A.K. 1991. Buried Late Pleistocene Fluvial Channels on the Inner Continental Shelf off Vengurla, West Coast of India. *Journal of Coastal Research* 7(2): 509-516.
- Tesson, M., Labaune, C. y Gensous, B. 2005. Small rivers contribution to the Quaternary evolution of a Mediterranean littoral system: The western gulf of Lion, France. *Marine Geology* 222-223: 313-334.
- Violante, R.A. y Parker, G. 2000. El Holoceno en las regiones marinas y costeras del nordeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55(4): 337-351.
- Violante, R.A. y Parker, G. 2004. The post-last glacial maximum transgression in the de la Plata River and adjacent inner continental shelf, Argentina. *Quaternary International* 114: 167-181.
- Weber, N., Chaumillon, E., Tesson, M. y Garlan, T. 2004. Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated-incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: the paleo-Charente River, France. *Marine Geology* 207: 17-38.

Recibido: 16 de marzo , 2007

Aceptado: 22 de noviembre, 2007