

Dinámica submareal y condiciones ambientales de la ría Deseado, Santa Cruz

Federico ISLA¹, Nerina IANTANOS² y Enrique ESTRADA²

¹Centro de Geología de Costas (CONICET-UNMDP), c.c. 722, 7600 Mar del Plata. E-mail: fsisla@mdp.edu.ar

²Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Km 4, Comodoro Rivadavia.
E-mail: iantanos@unpata.edu.ar; eestrada@unpata.edu.ar

RESUMEN. La geometría del estuario del río Deseado, las condiciones climáticas semiáridas y la morfología de los cañones labrados en volcanitas han contribuido al dominio del régimen macromareal en este sector de la costa patagónica. A su vez, los efectos de las corrientes de marea se acentúan debido al empobrecimiento en el caudal del río, que en función del valle que se observa en la actualidad, debió haber llevado un importante caudal alimentado por las aguas de fusión de la masa de hielo que rellenaba la cuenca del lago Buenos Aires. Cuando los hielos dejaron libre el valle del río Baker, el lago comenzó a desaguar hacia el Pacífico, dejando casi seco al río Deseado, que sólo recibe los aportes de los ríos Pinturas y Fénix Grande. La atenuación de la marea se reconoce en la gradación de los sedimentos de fondo: gravas en Puerto Deseado, arenas en la bahía Uruguay y fangos en la bahía Concordia. Las formas de fondo reconocidas como sonografías destacan megaóndulas bidimensionales orientadas según el flujo en el sector de isla de los Pájaros, y ondas de arena orientadas según el reflujo que se ubicaron a mayor profundidad hacia el interior de este sector de acumulación. Los registros de sonar lateral así como los muestreos de fondo confirmaron fondos planos arenosos con gravas en bahía Uruguay, y surcos erosivos (*furrows*) constituidos en fangos en el interior de la bahía Concordia. La mezcla de aguas marina y dulce se produce en Puesto El Paso mientras que en la bahía Concordia se dan los máximos de turbidez.

Palabras clave: *Dinámica estuarina, Transporte de sedimentos, Río Deseado*

ABSTRACT. *Subtidal dynamics and environmental conditions of the Río Deseado estuary, Santa Cruz.* The geometry of the Río Deseado estuary, the semiarid climatic conditions and the morphology of gorges carved into volcanic rocks contributed to the dominance of a macrotidal regime in this part of the Patagonian coast. In turn, the effects of tidal currents are increased due to the impoverishment of the Río Deseado discharge, whose valley used to drain the ice cover that occupied the Lago Buenos Aires basin. When the Río Baker valley became free of ice, the lake began to discharge to the Pacific Ocean. Since then, the Río Deseado has received only the supply of the Pinturas and Fénix Grande rivers. The decrease of the tidal action towards the headlands produces a grain-size segregation in the bottom sediments: gravel at Puerto Deseado, sand in Bahía Uruguay and mud in Bahía Concordia. Bedforms recognized in side-scan sonar records distinguished flood-oriented 2-D megaripples in the area of isla de los Pájaros, and ebb-oriented sand waves at a greater depth and some kilometres inland in the inlet of Bahía Uruguay. Sonographs and bottom samples confirmed flat beds composed of sands with gravel in Bahía Uruguay and furrows eroded in muds in Bahía Concordia. Water mixing (marine and freshwater) occurs in Puesto El Paso while turbidity maximum was measured in Bahía Concordia.

Key words: *Estuarine dynamics, Sediment transport, Deseado River*

Introducción

Las rías son usualmente definidas como estuarios originados por la inundación postglacial de un valle fluvial. Sin embargo, en la definición original del geógrafo Ferdinand Von Richthoffen para las Rías Bajas gallegas los efectos tectónicos fueron claramente reconocidos (1886). En realidad el término ya se utilizaba en el siglo XV; el diccionario castellano-latino de Elio de Nebrija definía ría como “puerto de río, *ostium fluminis*” (F. Vilas, comunicación personal). Con el tiempo, la literatura anglosajona fue deformando el término al tiempo que se popularizaba el significado actual y se extendía la definición a costas de dinámica e historia geológica diferente. En revisiones recientes se han reconocido estuarios “tipo ría” en el norte de la península Ibérica, Bretaña, Gales,

Corea, China y Patagonia (Castaing y Guilcher 1995). Las rías patagónicas resultan particulares en el sentido de que el clima árido y las alteraciones de las cuencas en relación a los depósitos glaciales y fenómenos de captura han originado ríos disminuidos respecto a sus valles. Por otro lado, las variaciones del nivel del mar durante el Holoceno han sido diferentes a las del Hemisferio Norte (Isla 1989) y por lo tanto estas rías son formas emergentes donde se han reconocido playas elevadas (Schellmann 1998) y planicies “colgadas” atribuidas a antiguos efectos mareales (Schellmann y Radke 2000).

En el presente trabajo se analizan las formas del fondo través de un relevamiento con sonar de barrido lateral, y perfiles de calidad de aguas y turbidez en diferentes momentos y sectores del estuario. Del análisis de muestras y formas del fondo, y de los perfiles de agua se han podido

inferir las magnitudes de los procesos de tracción y suspensión dominantes en el transporte de sedimentos.

Antecedentes

Charles Darwin realizó la primera descripción (23 de diciembre de 1833) del puerto asignado por el pirata Thomas Cavendish en 1536 para su barco "Desire". Port Desire era entonces una llanura, elevada unos 200-300 pies por encima de algunas masas de pórfido y compuesta por guijarros mezclados con una tierra blanquecina. Posteriormente, Burmeister (1903) reseñó los terrenos de la primera localidad denominada Puerto Deseado. Wichmann (1919) y Wichman y Rosental (1933) efectuaron un estudio hidrogeológico para la provisión de agua al pueblo.

El estudio de las terrazas marinas de la Patagonia fue comenzado por Darwin quien reconoció en la faja costera atlántica varios escalones cuya altura varía entre algunas decenas de metros y 360 metros. Si bien Darwin consideró a todas de origen marino lo cierto es que algunas son fluviales y otras son estructurales, conformadas por bancos muy resistentes a la erosión que se intercalan en escalones relativamente blandos del Terciario y Cretácico superior. Feruglio (1950) diferenció terrazas marinas y aluvionales a lo largo del valle y estuario del río Deseado. Reconoció terrazas aluvionales a 300-330 m (Pampa María Santísima), 170-180 m (Meseta de Espinosa), 76-103 m (La Angostura), 76-79 m (Cerro Alonso), 20-65 m (Koluel Kaike, Escarpado Norte y Puerto Deseado) y la terrazas aluvionales más bajas entre 10 y 15 m sobre el fondo del valle. Las terrazas marinas de la región las reconoció a 30-40 m (terrazza IV o del Escarpado Norte de Puerto Deseado), 15-30 m (terrazza V o Puerto Mazarredo) y la terraza de Comodoro Rivadavia que ubica entre 8 y 12 m (terrazza VI). Konzewisch (1959) reanalizó las terrazas marinas más bajas de Feruglio dando nombres diferentes. Auer (1959) utilizó nivelaciones de las terrazas marinas de Puerto Deseado para analizar las terrazas marinas del sur de Chile. Reconoció terrazas a 40, 30, 25, 18-20, 15, 9-10, 6 y 3 m, las dos últimas ya próximas a los efectos de mareas normales y de tormentas. Sala y Rojo (1985) volvieron a examinar los recursos hidrogeológicos de Puerto Deseado. La hoja geológica correspondiente a Puerto Deseado fue descripta a escala 1: 100.000 (Palma 1986) y 1: 250.000 (Giacosa *et al.* 1998). González Arzac *et al.* (1991) evaluaron las aguas subterráneas del norte de Santa Cruz. Codignotto *et al.* (1988) determinaron la evolución de la línea de costa, a partir de edades Carbono 14, y propusieron un modelo evolutivo de las variaciones verticales relativas de la línea de costa durante el Holoceno.

Área de estudio

Puerto Deseado (47°44'S y 65°55'O; Fig.1) fue conocido como puerto desde la expedición de Magallanes (1520) cuando Rodríguez Serrano lo menciona como "Bahía dos

Trabalhos". El puerto, ubicado sobre la margen norte acantilada del estuario, es de aguas profundas con una actividad pesquera en crecimiento que ha provocado la duplicación de la población entre 1980 y 1983. El estuario tipo ría (Fairbridge 1980) tiene un régimen macromareal; las amplitudes medias varían entre 2,92 y 4,2 m, alcanzando rangos de 5,24 m durante las sicigias equinocciales. Las pleamares y bajamares de las bahías Uruguay y Concordia registran un retraso de 35 a 50 minutos respecto al puerto, pero sin diferencias en la altura. La geometría de embudo del estuario favorece la acción de las mareas y de comportamientos hipersincrónicos (Dalrymple *et al.* 1992). El sector más angosto (500 m) coincide con el más profundo (30 m) frente a Puerto Deseado. Los estuarios dominados por mareas son mucho menos conocidos que sus contrapartes dominados por olas (Dalrymple *et al.* 1992) y se los considera verticalmente homogéneos en cuanto a que las diferencias de la salinidad en profundidad son insignificantes y muy significativas horizontalmente. En nuestro caso la interfase salina se traslada varios km hacia el interior durante la pleamar (Iantanos *et al.* 2002). En las cabeceras del río Deseado las morenas dejadas por la última glaciación originaron una inversión en el sentido del drenaje del lago Buenos Aires hacia el Océano Pacífico. De este modo, el actual río Deseado sólo recibe aportes de los ríos Fénix Grande y Pinturas, que no contribuyen con caudales importantes. La evaporación potencial supera más de diez veces el valor de las precipitaciones. Al parecer la mayor parte del agua de lluvia se pierde por una rápida infiltración en los depósitos sueltos de los rodados patagónicos, a una profundidad mayor que el espesor de la franja capilar, protegiéndose de la acción de la evaporación. (Konzewisch 1959).

De la recopilación de datos sobre el caudal del Deseado, investigadores como Darwin (1833), Moreno (1876), Oneto (1883), Lista (1884) y Burmeister (1903) lo describen como un cuerpo de agua no navegable y seco en partes; cabe aclarar que estos autores no especifican el lugar de observación. De acuerdo a fotografías de 1972 (Fig. 2), las características morfológicas de la ría no han variado mayormente respecto a imágenes TM de 1999 (Fig. 3). De nuestras propias observaciones en el Paso Gregores, durante los meses de noviembre - diciembre, podemos describir que para el año 1999 el cauce que no superaba los 0,30 m de profundidad mientras que para los años 2000 y 2001 alcanzaba 1,50 m (observaciones de N. Iantanos).

Clima, geología y morfología

Puerto Deseado tiene una temperatura máxima anual de 37,3°C y una mínima absoluta de -9°C (década 1971-80). Las precipitaciones medias son de apenas 254 mm/año. Julio es el mes más lluvioso, y junto con agosto son los meses en que se pueden dar nevadas que se derriten rápidamente, debido al efecto moderador del mar. Los vientos dominantes son del oeste con una velocidad media de 31 km/h, aunque con menor frecuencia soplan del sudoeste y

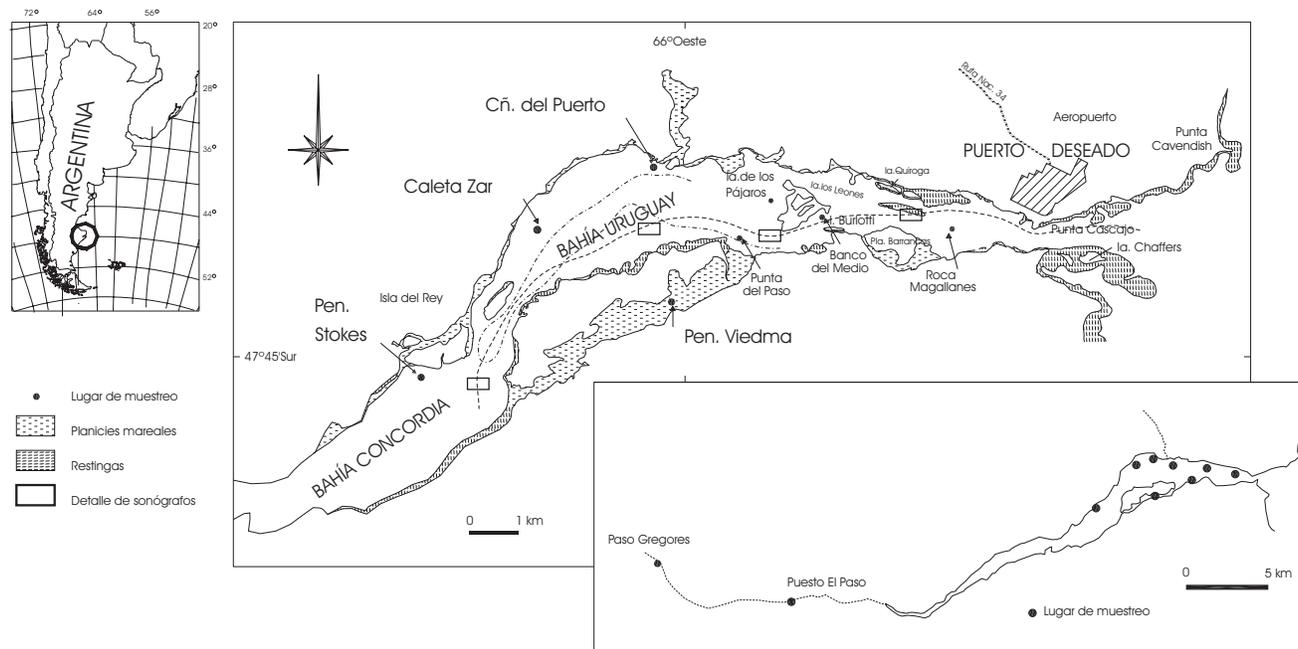


Figura 1: Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos y parámetros ambientales. Piernas registradas con sonar lateral.

norte. Las velocidades máximas llegan a 148 km/h, siendo enero el mes de vientos más fuertes.

En las márgenes de la ría Deseado afloran:

1. Volcanitas del Grupo Bahía Laura (Jurásico medio – superior): ignimbritas riolíticas interestratificadas con brechas, pórfidos cuarcíferos, queratófiros, aglomerados, brechas y tobos, con intercalaciones de areniscas y lutitas carbonosas.

2. Sobre éstas, se apoyan sedimentitas marinas correspondientes al Oligoceno – Mioceno de la Formación Patagonia. Los mayores espesores, en la zona de Pampa Alta, son de 40 a 60 m disminuyendo con la topografía. El máximo espesor constatado en la zona está en el cerro Alonso con 75 metros. Se compone de fracciones de arena limosa o limo arenosa, con un porcentaje mayoritario de vidrio volcánico y abundantes restos de moluscos y bivalvos. Presenta además arcillas plásticas arenosas.

En el tope de la secuencia se han reconocido terrazas marinas pleistocenas y holocenas. Compuestas por grava, conchillas y arena, fueron definidas por Feruglio (1950) como terraza superior (15 a 18 m s.n.m.) y terraza inferior (8 a 10 m s.n.m.). Estas terrazas han sido datadas con técnicas radiocarbónicas y de racemización de aminoácidos (Rutter *et al.* 1989; Schellmann 1998). De la terraza inferior (VI en el sentido de Feruglio) se obtuvieron edades de 1350 y 1520 años AP y corresponderían al presente Interglacial. En cambio, de punta Cavendish y del muelle Gipsy (terrazas IV y V de Feruglio 1950) se obtuvieron relaciones D/L que indican una edad igual o mayor al estadio isotópico 5e del oxígeno (Schellmann 1998); otros niveles han sido asignados al estadio 9 (Schellmann y Radtke 2000).

Finalmente, se han reconocido depósitos de playa actual, bancos de arena, planicies mareales y marismas, en la costa y en el interior del estuario.

Puerto Deseado se encuentra en un sector de mesetas que se ha denominado macizo del Deseado. Se han reconocido varias terrazas a lo largo del río. De acuerdo a los paleosistemas de drenaje definidos en el esquema regional este sector aterrizado correspondería al Sistema Río Deseado – Nivel III-, Terraza Pampa Alta (Césari *et al.* 1986) y equivalente a la unidad geohidrológica Pampa Alta (González Arcac *et al.* 1991).

La ribera norte del río se caracteriza por cañones y cárcavas, mientras que en el sector sur estos cañones son menos característicos (Puesto El Paso). Desde el punto de vista morfológico distinguimos cordones litorales y playas actuales sobre la costa atlántica, mesetas atravesadas por cañones y cárcavas en la margen norte, y valles y terrazas en la margen sur del río. Los sectores interiores de cañones y gargantas están ocupados por planicies de mareas y marismas. En los sectores centrales de la ría se ubicó el delta de flujo y antiguos niveles de playa con restos de *Mytilus* sp. conformando “sambaquis” o concheros (cañadón del Puerto, punta Cavendish). A través de fotografías aéreas de 1972 e imágenes satelitales de 1999 pudo reconocerse la diferencia en la carga en sedimentos en suspensión entre la bahía Concordia con alta concentración y la bahía Uruguay con menor concentración de sedimentos (Figs. 2 y 3).

Metodología

Los relevamientos de sonar lateral fueron realizados con un equipo Klein (modelo 422) con una unidad transductora (350 A), *depresor K-wing* y un registrador EPC (modelo GSP 1086) a bordo de una lancha rápida que navegaba entre 4 y 5,5 nudos.

Para los muestreos de fondo se utilizó un muestreador

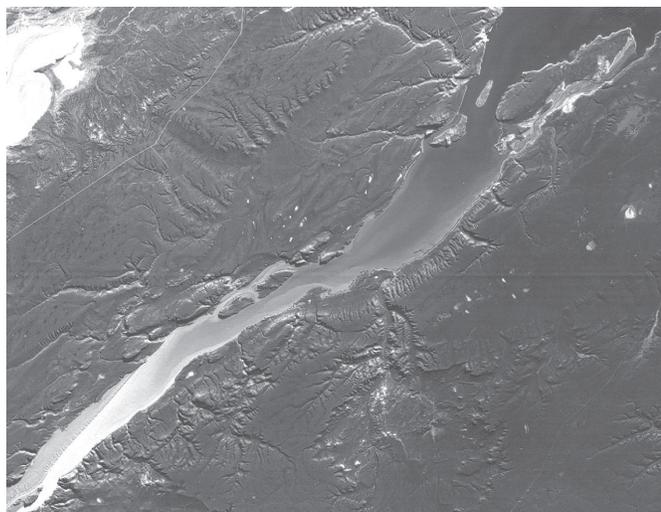


Figura 2: Fotografía de detalle de la bahía Concordia tomada por el satélite espía Corona el 26 de mayo de 1972. Existe una gradación de sedimentos en suspensión hasta el vértice inferior izquierdo de la fotografía donde se puede reconocer una planicie fangosa en la ribera izquierda del río. Nótese el desarrollo de cañones labrados en volcánicas.

Snapper. Las mediciones de calidad de aguas fueron realizadas los días 6 y 11 de diciembre de 1999, y el 27 de marzo de 2001, con un analizador de aguas Horiba U10 con cable de 30 m. Este equipo mide 6 parámetros: pH (rango 0 a 14), salinidad (rango 0 a 40 unidades prácticas de salinidad; UPS), conductividad (rango 0 a 100 mS/cm), temperatura (rango 0 a 500 °C), turbidez (rango 0 a 800 unidades nefelométricas de turbidez; NTU) y oxígeno disuelto (rango 0 a 19,9 mg/l) (Horiba 1991). Toda la derrota fue posicionada cada 60 seg con un equipo *GPS Trimble Ensign XL* conectado a una computadora portátil.

Los sedimentos para el estudio granulométrico, previa disgregación, fueron analizados en laboratorio usando una pila de tamices con 0,5 unidades phi de intervalo. Las pelitas fueron analizadas según el método de la pipeta de acuerdo a la velocidad de caída en probetas de 1 litro. Para el análisis granulométrico se utilizaron los parámetros estadísticos y métodos gráficos recomendados por Folk y Ward (1957) e incluyó el cálculo de los parámetros media, mediana y selección.

Resultados

En la ría se efectuaron estudios granulométricos en los sedimentos de fondo y también se midieron parámetros ambientales. Las estaciones de muestreo fueron en total 10 y hacia la boca del estuario se los ha denominado: puesto del Paso (paso Marcicano), bahía Concordia, península Stokes, playa Caleta Zar, cañadón del Puerto, península Viedma, Punta del Paso, isla de los Pájaros, banco del Medio y Roca Magallanes (Fig. 1, Cuadro 1).

Cuadro 1: Datos granulométricos de la ría Deseado.

Localidades	Media (phi)	Mediana (mm)	Desvio St.	Sedimento
Puesto El Paso 22	3,97	0,052	0,82	Arena muy fina
Puesto El Paso 21	4,42	0,038	0,52	Limo grueso
Puesto El Paso 23	4,46	0,037	0,49	Limo grueso
Bahía Concordia	>4	<0,062		fango
Pen. Stokes	3,5	0,08	0,91	Arena muy fina
Caleta Zar	4,0	0,062	0,945	Limo
Cañadón de Puerto	3,5	0,088	1,15	Arena muy fina
Península Viedma	4,5	0,044	0,8	Limo grueso
Punta del Paso	0	1	2,44	Arena
Banco del Medio	-0,25	1,19	2,58	Arena
Isla de los Pájaros	-0,25	1,19	2,01	Arena
Roca Magallanes	-3,1	8	1,11	Grava

Granulometría de los sectores inter y submareales de la ría

Los sectores supramareales ya han sido analizados como planicies no operativas originadas por el descenso del nivel del mar durante el Holoceno (Iantanos *et al.* 2002). En el puente del Paso Gregores, y alejado del sector estuarino, se observaron bancos de arenas gravosas fluviales con un diseño de curso anastomosado. El sector de puesto El Paso (paso Marcicano) está constituido por limos a arenas muy finas (Cuadro 1) con un nivel fósil elevado supramareal (muestra 22), un sector intermedio (muestra 21) con grietas y alternancia de sedimentos claros y oscuros, y el sector bajo es netamente fangoso depositado en mareas de cuadratura (muestra 23).

De los sedimentos de fondo analizados se discriminan dos grupos. El primero grupo está compuesto por limos a arenas finas en península Stokes, playa Caleta Zar, cañadón del Puerto y península Viedma; en el fondo de la bahía Concordia dominan los fangos con abundante fauna de poliquetos, equinodermos, ofiuros y bivalvos. El segundo grupo está integrado por arenas muy gruesas obtenidas en banco del Medio, isla de los Pájaros y punta del Paso (Cuadro 1). Con respecto a los sedimentos de este segundo grupo se determinaron bajos valores de selección. El banco de forma triangular de la isla de los Pájaros conforma el delta de flujo del estuario (Iantanos *et al.* 2002). En la muestra correspondiente a Roca Magallanes se constató una abundante cantidad de mejillines, colonias de *Balanus* y clastos redondeados.

Formas de fondo a partir de sonografías

En la boca del estuario se detectó un campo de mega-óndulas con poca asimetría entre el muelle Gipsy ubicado al oeste de Puerto Deseado y la baliza Magallanes. En



Figura 3: Imagen TM 234 (con 5% de saturación lineal) del estuario del río Deseado. Landsat 5. 14 de mayo de 1999. Se destaca la diferencia en la concentración de material en suspensión entre la bahía Concordia y la bahía Uruguay.

el sector de la ría entre la isla Quiroga y la península de las Barrancas se reconocieron rocas en el fondo (Fig. 4). La isla de los Pájaros constituye el delta de flujo del estuario con una pendiente suave hacia el mar y una pendiente abrupta hacia la bahía Uruguay. Tanto en el fondo del canal, en el sector del islote Burlotti, como en el sector de la punta del Paso, los registros permitieron detectar cárcavas en el fondo muy semejantes a las observadas en los sectores emergidos de la ría (cañadón del Puerto, península Viedma).

La bahía Uruguay es una depresión alargada limitada por dos bancos: el delta de flujo de la isla de los Pájaros y el banco al norte de la isla del Rey. La bahía está compuesta por gravas arenosas (Fig. 5). En la península Stokes se registró una acumulación de rocas en el fondo. El fondo de la bahía Concordia es fangoso con formación de surcos (*furrows*) de diferentes tamaños (Fig. 6). En punta del Paso se constató un poco extenso campo de ondas de arena orientadas según el reflujó (Fig. 7).

Perfiles de calidad de agua en la ría

En la península Stokes, en la caleta Zar y en el cañadón del Puerto el pH promedio es 7,94, la conductividad, la temperatura y la turbidez se mantuvieron constantes; el oxígeno disuelto fue aumentando cada 2 m desde 8,8 a 12,7 mg/l cerca del fondo. Con respecto a la salinidad también se observó un aumento con la profundidad desde 33,6 hasta 34 UPS (Cuadro 2a; 9 de diciembre 1999). Los valores de turbidez de la bahía Uruguay aumentaron de 2 a 4 NTU en profundidad (22 m). En cambio, a pocos km, en la bahía Concordia aumentó de 51 a 108 NTU en sólo 4 m de profundidad (Cuadro 2b).

De la comparación de las mediciones efectuadas en diciembre de 1999, y las de marzo de 2001 en las dos bahías

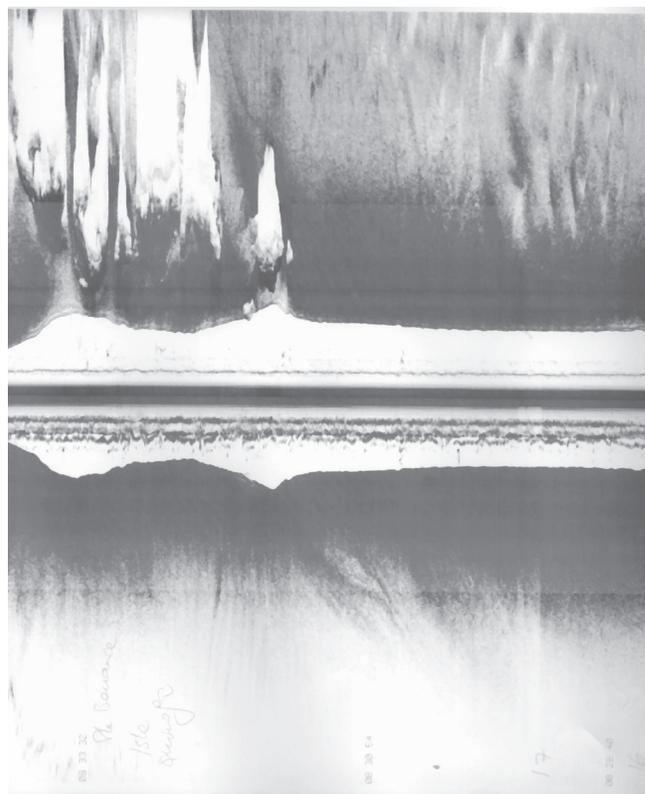


Figura 4: Sonografía del sector entre la punta Barrancas y la isla de los Pájaros. Volcanitas del Grupo Bahía Laura afloran en el sector norte (parte superior de la figura) en la isla Quiroga. La ubicación se detalla en la figura 1 (el rango de barrido es de 150 m, la profundidad de 16-17 m).

contiguas, Concordia y Uruguay (Fig. 1), se reconoce:

1. Los pH del fin del verano son mayores que los de diciembre (Cuadros 2a y b).
2. La salinidad también es mayor a fines del verano.
3. Las temperaturas del agua de marzo fueron inferiores a las de diciembre.
4. En diciembre los valores más altos de oxígeno disuelto se midieron cerca del fondo en ambas bahías. En marzo, los valores más altos estaban en superficie.
5. La concentración de sedimento en suspensión es significativamente superior en la bahía Concordia que en la bahía Uruguay.

En el puesto El Paso (Marcicano) se tomaron tres mediciones cada media hora durante la bajante (diciembre de 1999) y se encontró que si bien los valores de pH no tuvieron grandes variaciones (promedio 8,15), la salinidad disminuyó de 16,4 a 13,3 UPS. A medida que bajaba la marea la temperatura fue aumentando unos 0,6 °C (máxima 15,7 °C). En el paso Gregores, fuera del área estuárica, las mediciones se realizaron sobre muy poca agua que descargaba el río: el pH alcanzó un valor máximo para esa fecha de 8,97, la turbidez 40 NTU, el oxígeno disuelto 9,45 mg/l y la salinidad un valor de 0,8 UPS. La temperatura registró un valor máximo de 19,9 °C que denota los efectos de evaporación en este sector sin influencia de mareas durante aquellos días los valores de temperatura del agua en la ría no pasaron los 13°C (Cuadro 2a).

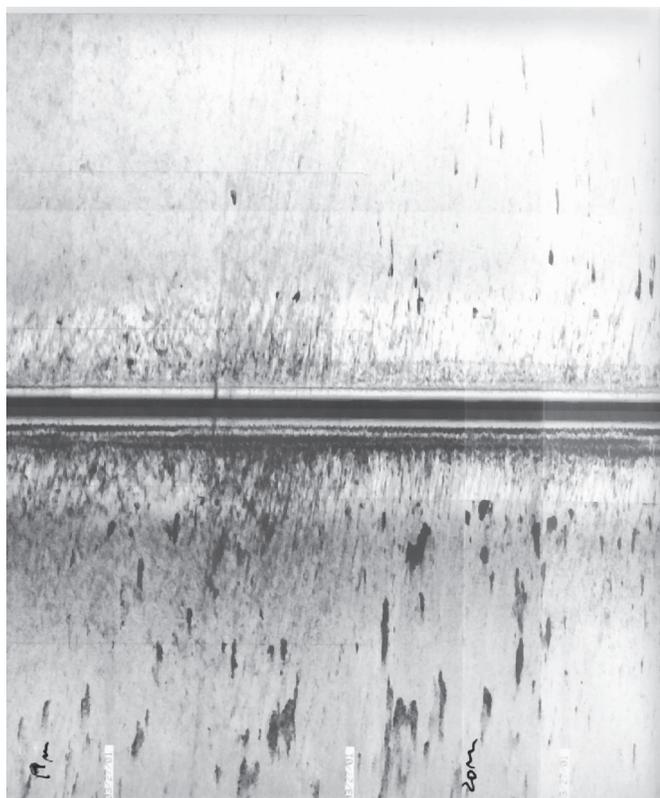


Figura 5: Sonografía del fondo de la bahía Uruguay. Arenas y gravas se alternan en parches que tapizan un fondo plano de composición no homogénea. La ubicación se detalla en la figura 1 (el rango de barrido es de 150 m, la profundidad es de 19-20 m).

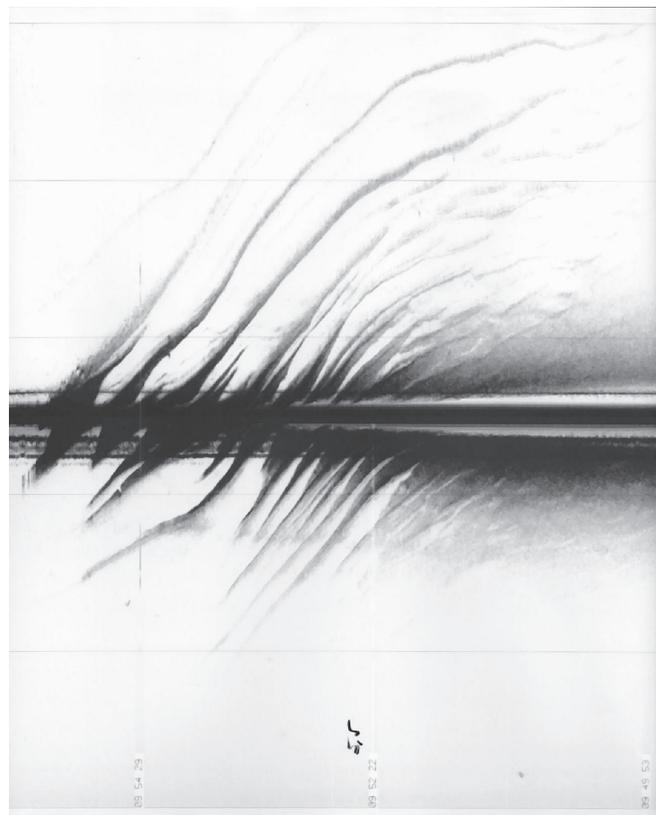


Figura 6: Sonografía del fondo de la bahía Concordia. Los surcos indican corrientes que erosionan el fondo fangoso. La ubicación se detalla en la figura 1 (el rango de barrido es de 150 m, la profundidad es de 5-6 m).

Discusión

Las rías patagónicas son especiales en cuanto a que los regímenes fluviales están disminuidos morfológicamente respecto al valle excavado, y a que el nivel relativo del mar ha descendido en los últimos 6000 años. Se ha constatado la presencia de planicies de marea no operativas dentro de los cañones esculpidos en las rocas volcánicas del Grupo Bahía Laura (Iantanos *et al.* 2002). En el paso Marcicano, el cauce actual erosiona una planicie fangosa. La desaceleración de la marea es responsable de la gradación gravas-arenas-fangos desde la boca hacia el interior. En ese sentido, la profundidad de la ría es de 30 m en la ciudad de Puerto Deseado disminuyendo a sólo 0,5 m en la bahía Concordia.

Entre el puesto El Paso y la bahía Concordia se registra la desaceleración del flujo del río que marca la transición en el diseño del cauce en “recto-meandroso-recto” de acuerdo al modelo de Dalrymple *et al.* (1992). El sector recto interior contiene barras debido a que el transporte de sedimentos es prácticamente unidireccional, en el sentido del flujo que domina sobre las corrientes de marea. El diseño meandroso corresponde al sector de menor energía del sistema, con menor granulometría y marca la convergencia en el transporte por el fondo. El sector recto exterior (Fig. 4) está dominado por un flujo bidireccional,

con un transporte neto de sedimento hacia las cabeceras (Dalrymple *et al.* 1992).

El efecto del viento dominante e intenso del oeste ayuda a incrementar estos efectos de desaceleración del flujo de la marea. En ambientes más extensos y abiertos a efectos eólicos como la bahía San Sebastián (norte de Tierra del Fuego), el viento produce olas de mayor altura y energía que las provenientes del Atlántico (Isla *et al.* 1991). Otros estuarios de la Patagonia y norte de Tierra del Fuego tienen comportamientos similares en cuanto al recorrido que efectúa la marea. En el estuario de Río Gallegos, la onda de marea se traslada hasta la localidad de Güer Aike (ruta 3) sin estratificarse por decenas de kilómetros (Perillo *et al.* 1999). Similar recorrido de la marea se ha reconocido en el estuario del río Grande pero con gran variación del prisma de marea debido a la dinámica de la Punta Popper que condiciona el área mínima de flujo (Bujalesky 1997). En el caso de la ría Deseado el área de flujo es rocosa y por lo tanto estable. La onda salina se desplaza 40 km hacia el interior, hasta el paso Gregores, tal como lo indican los valores de salinidad y temperatura y causando variaciones en las características granulométricas de cada sector. En los estuarios macromareales como el Tamar, Inglaterra, la interfase agua dulce-agua salada marca el límite aproximado (a veces un tanto hacia las cabeceras) del máximo de turbidez (Uncles y Stephens 1989). En la bahía

Cuadro 2a: Variaciones de los parámetros ambientales en la bahía Concordia.

	Pen. Stokes	9 dic 1999	47°47' S	66°05' S	Ba. Concordia	27 mar 2001	47°48' S	66°07' S		
Prof. (m)	pH	Ox. Dis.	T°	Salin	pH	Ox. Dis.	T°	Salin.	Turb.	
0	7,62	8,78	12,9	33,6	9,16	11,07	11,9	35,8	51	
-2	7,69	9,09	12,9	33,7	9,16	10,54	11,9	35,8	52	
-4	7,70	9,39	12,6	33,8	9,16	9,93	11,9	35,7	108	
-6	7,71	9,78	12,7	33,9						
-8	7,70	10,00	12,7	33,9						
-10	7,70	10,27	12,7	34,0						
-12	7,70	10,60	12,7	34,0						
-14	7,69	10,54	12,7	34,1						

2b: Variaciones de los parámetros ambientales en la bahía Uruguay.

	Caleta Zar	6 dic 1999	47°45'4.5''S	66°02'4.8''O	Bahía Uruguay	27 mar 2001	47°45' S	66°00' O		
Prof. (m)	pH	Ox. Dis.	T °C	Sal.	pH	Ox. Dis. (mg/l)	T °C	Salin	Turb	.
0	8,05	9,06	12,4	33,9	9,06	11,76	11,9	35,4	2	
-2	8,06	9,48	12,5	33,9	9,05	11,80	11,9	35,5	3	
-4	8,06	9,70	12,4	34,0	9,05	11,74	11,9	35,5	3	
-6	8,06	9,86	12,4	34,0	9,05	11,85	11,9	35,6	2	
-8	8,07	10,01	12,4	34,0	9,04	11,92	11,9	35,6	2	
-10	8,07	10,11	12,4	34,0	9,04	11,77	11,9	35,6	2	
-12					9,05	11,51	11,9	35,6	2	
-14					9,04	11,45	11,9	35,7	4	
-16					9,03	11,37	11,9	35,8	4	
-18					9,03	11,42	11,9	35,8	4	
-20					9,02	11,57	12,0	35,8	4	
-22					9,01	11,37	12,0	35,9	4	

de San Francisco, este máximo de turbidez se ubica donde la salinidad es un décimo de la del mar (aproximadamente 3 UPS; Officer y Nichols 1980). En el caso de la ría de Puerto Deseado, dados los valores altos de salinidad a lo largo de todo el estuario, el máximo de turbidez se ubica en la bahía Concordia donde se atenúa el flujo mareal y donde la profundidad permite la resuspensión por efecto del viento. Esta zonación de las rías es común y distingue un sector externo de control oceánico (mareas) y un sector interno de control estuarino (descargas fluviales; Pazos Rodríguez *et al.* 1995).

En cuanto a su evolución, las rías del Hemisferio Norte acumulan depósitos de la transgresión postglacial o fladriense (Pazos Rodríguez *et al.* 1995). Los efectos de la regresión marina en el Hemisferio Sur (Isla 1989) han afectado los estuarios patagónicos y de otras zonas del mundo con similar historia eustática. En Australia, en el estuario del río South Alligator la porción interna del sector meandroso ha migrado hacia la desembocadura más de 20 km como consecuencia del fin de la transgresión holocena (Woodroffe *et al.* 1989). El descenso de aproximadamente 1,5 m entre 6000 y 4000 años AP afectó el estuario macromareal del *Louisa Creek*, Australia. El área estuarina se mantuvo pero se redujo la frecuencia de inundaciones de la zona intermareal superior, provocando la formación de áreas supramareales hipersalinas (Lessa y Masselink

1995). Como consecuencia de este cambio en el prisma de mareas, la sección de flujo transversal se redujo al tiempo que la barrera obstruía parcialmente la desembocadura por efecto de la deriva. El relleno de este estuario por contracción de las áreas intermareales fue favorecido por la expansión del manglar (Lessa y Masselink 1995). En el caso de Puerto Deseado, tanto el área del estuario como el área mínima de flujo están limitadas (estabilizadas) por afloramientos rocosos. Le península e isla Foca, como la restinga e isla Chaffers, por el norte y por el sur respectivamente, son barreras naturales a la deriva litoral. Por lo tanto, el descenso del nivel del mar no habría afectado mayormente el prisma de mareas sino el nivel de base. De allí que antiguas planicies mareales hayan quedado preservadas en cañones y hoy sean disectadas por canales.

A efecto de reconocer los procesos sedimentarios y de distribución de contaminantes en relación a la operabilidad de la futura descarga fluvial de Boston, se realizó un estudio con sonar lateral de la bahía de Massachusetts y en especial del puerto Boston (Knebel 1993; Knebel *et al.* 1992). A los fines prácticos se decidió clasificar los fondos de acuerdo a su comportamiento: erosivos y no depositacionales, de retrabajo y de acumulación. Utilizando este ejemplo práctico, podemos manifestar:

1) La bahía Concordia es una cuenca de deposición de fangos.

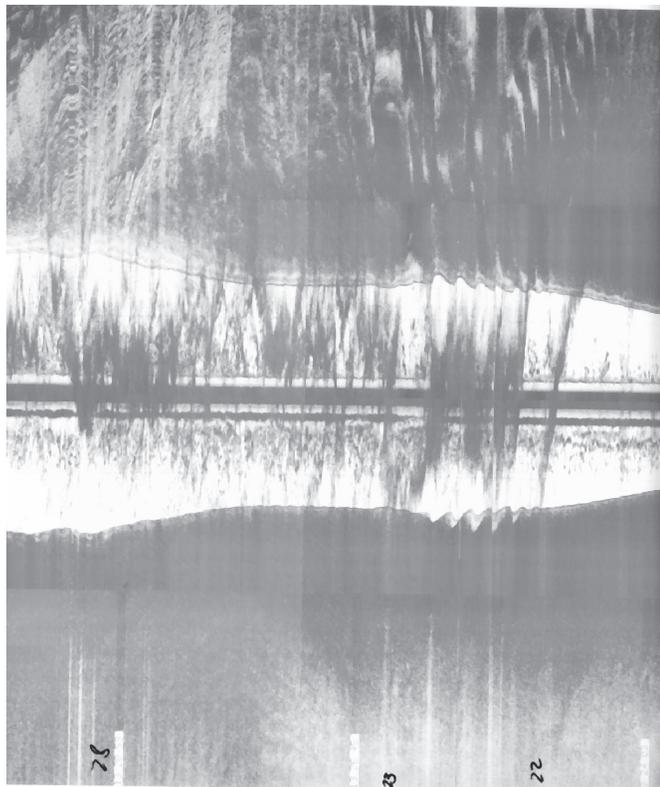


Figura 7: Sonografía de punta del Paso. Las ondas de arena y grava están orientadas según el reflujo en la pendiente interior del delta de flujo. La ubicación se detalla en la figura 1 (el rango de barrido es de 150 m, la profundidad es de 22-26 m).

2) La bahía Uruguay es una zona de retrabajamiento sobre todo en los sectores más afectados por las corrientes de marea en las proximidades de la isla de los Pájaros (ondas de arena del delta de flujo y reflujo).

3) Al este de la isla de los Pájaros domina la erosión, exceptuando algunas acumulaciones de grava arenosas en los reparos originados por salientes o islas (Quinta, Quiroga, de los Leones).

Conclusiones

1. La desaceleración de la marea es responsable de la gradación granulométrica hacia el interior del estuario, con fondos psefíticos en Puerto Deseado, arenosos en bahía Uruguay y fangosos en la bahía Concordia.

2. El delta de flujo compuesto de arena y grava localizado en la isla de los Pájaros está disectado hacia el sur por un canal profundo (10-20 m) con ondas de arena orientadas según el reflujo.

3. La bahía Uruguay está compuesta por fondos planos de arena y grava. La bahía Concordia es también de fondo plano pero con dominio de formas erosivas (surcos).

4. Entre ambas bahías no se observó variación significativa en la calidad de las aguas, pero existe un aumento muy significativo de la turbidez en la bahía Concordia, por su menor profundidad (máximo de turbidez del estuario).

5. El mayor efecto fluvial en el estuario es el de haber conformado la morfología del valle y sus cañadones en el pasado.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Intendente de Puerto Deseado A. Rodríguez y al Director de Medio Ambiente Dr. Jorge Saborido. Los trabajos se realizaron en la embarcación Río de la Plata de la Subprefectura Puerto Deseado (Subprefecto Hugo Cáceres). Las imágenes TM fueron provistas por la CONAE al Depto. de Geología de la UNPSJB. Las fotografías Corona fueron compradas al USGS, Sioux Falls, Dakota del Sur. Parte de los trabajos fueron financiados por la Fundación Antorchas (subsidio 13672/6 a FII). Las figuras fueron procesadas por el Cart. R. M. Farenga. R. Violante, E. Schnack y otro árbitro anónimo enriquecieron el manuscrito original.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Auer, V., 1959. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part III: Shoreline displacements. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A, Geologica-Geographica* 60, Helsinki, 247 p.
- Bujalesky, G. G., 1997. Morfodinámica y evolución histórica de la espiga Punta Popper y la boca de mareas del río Grande, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52 (2): 187-201.
- Burmeister, C., 1903. Territorio de Santa Cruz. *Boletín de Agricultura y Ganadería*, 58: 505-556.
- Castaign, P. y Guilcher, A., 1995. Geomorphology and sedimentology of rías. En Perillo, G. M. E. (ed.) *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in Sedimentology* 53, Elsevier Science Publ., 69-111.
- Césari, O., Simeoni, A. y Berós, C., 1986. Geomorfología del sur del Chubut y Norte de Santa Cruz. *Universidad Abierta, UNPSJB*. 1(1): 18-36
- Codignotto, J., Marcomini, S. y Santillana, S., 1988. Terrazas marinas entre Puerto Deseado y Bahía Bustamante, Santa Cruz y Chubut. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 43 (1): 43-50.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. y Boyd, S., 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62 (6): 1131-1146.
- Fairbridge, R., 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: John Wiley & Sons (Eds.), *Chemistry and Biochemistry of Estuaries* 1-35.
- Feruglio, E. 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Tomo III. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Buenos Aires. 432 p.
- Folk, R. & Ward, W., 1957. Brazos River bar: a study in significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology and Petrology* 27(1): 3-26.
- Giacosa, R., Césari, O. y Genini, A., 1998. Hoja Geológica 4766-III y IV Puerto Deseado. Prov. de Sta. Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín* 240, 60 p.
- González Arzac, R., Díaz, J.L. y Amboni, B., 1991. Geohidrología del área noreste de la provincia de Santa Cruz. CFI. Serie Investigaciones Aplicadas: Hidrología Subterránea, 1. 39 p.
- Iantanos, N., Estrada, E. e Isla, F., 2002. Formas mareales de la Ría del Deseado, Santa Cruz. *Asociación Argentina de Sedimentología Revista* 9 (1): 43-52.

- Isla, F. I., 1989. The Southern Hemisphere sea level fluctuation. *Quaternary Science Reviews* 8: 359-368.
- Isla, F. I., Vilas, F. E., Bujalesky, G., Ferrero, M., Gonzalez Bonorino, G. y Arche Miralles, A., 1991. Gravel drift and wind effects over the macrotidal San Sebastián Bay, Tierra del Fuego. *Marine Geology* 97: 211-224.
- Knebel, H. J., 1993. Sedimentary environments within a glaciated estuarine-inner shelf system: Boston Harbor and Massachusetts Bay. *Marine Geology* 110: 7-30.
- Knebel, H.J., Rendigs, R.D., Oldale, R.N. y Bothner, M.H., 1992. Sedimentary framework of Boston Harbor, Massachusetts. En Fletcher, C. H. III y Wehmiller, J.F. (eds.) *Quaternary coasts of the United States: Marine and lacustrine systems*. SEPM Special Publication 48: 35-43.
- Konzewisch, N., 1959. Hidrogeología de la región de Puerto Deseado. *Agua y Energía Eléctrica de la Nación*. Publicación 2, 42 p. Buenos Aires.
- Lessa, G. y Masselink, G., 1995. Morphodynamic evolution of a macrotidal barrier estuary. *Marine Geology* 129: 25-46.
- Officer, C.B. y Nichols, M.N., 1980. Box model application to a study of suspended sediment distribution and fluxes in partially mixed estuaries. *Estuarine Perspectives*, Academic Press: 329-340, San Diego.
- Palma, M. A., 1986. Descripción geológica de la Hoja 53 g-h, Ría Deseado. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires (inédito). 50 p.
- Pazos Rodríguez, O., Nombela Castaño, M. A., Alejo Flores, I., García Gil, S., Rubio Armesto, B., García Gil, E. y Vilas Martín, F., 1995. Sesión de campo: La costa de rías. Reunión monográfica sobre el cambio de la costa: los sistemas de rías. Vigo, 13-15 de setiembre de 1995, 74 p.
- Perillo, G., Piccolo, C. y Pino Quivira, M., 1999. Estuaries of South America: Their Geomorphology and Dynamics. In: Perillo, Piccolo y Pino Quivira (Eds.), *Environmental Science*, 223 p.
- Rutter, N., Schnack, E. J., Fasano, J. L., Isla, F. I., Del Río, L. y Radke, U., 1989. Correlation and dating of Quaternary littoral zones along the Patagonian coast, Argentina. *Quaternary Science Reviews*, 8: 213-234.
- Sala, J. y Rojo, A., 1985. Investigaciones hidrológicas aplicadas en el área de Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz. Convenio Servicios Públicos S.E. – Univ. Nac. La Plata (Fac. Cs. Nat.), informe final, (inédito). 52 p.
- Schellmann, G., 1998. Jungkanozoische landschaftsgeschichte Patagoniens (Argentinien). *Essener Geographische Arbeiten* 29, 216 p. Essen.
- Schellmann, G. y Radke, U., 2000. ESR dating stratigraphically well-constrained marine terraces along the Patagonian Atlantic coast (Argentina). *Quaternary International* 68-71: 261-273
- Uncles, R.J. y Stephens, J.A., 1989. Distribution of suspended sediment at high water in a macrotidal estuary. *Journal of Geophysical Research* 94 (C10): 14395-14405.
- Violante, R. A. y Parker, G., 1993. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior-Holoceno en la llanura costera de la región de Faro Querandí (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47 (2): 215-227.
- Von Richthoffen, F., 1886. *Führer für Forschungsreisende*. Hannover, Janecke, 734 p.
- Wichmann, R., 1919. Investigaciones hidrogeológicas en Puerto Deseado y sus alrededores con motivo de la provisión de agua a dicho pueblo. Dirección General Minería e Hidrogeología, Boletín 20, 32 p.
- Wichmann, R. y Rosental, H., 1933. Estudio hidrogeológico en Puerto Deseado. Dirección General Minería e Hidrogeología. Boletín s/n. Anexo informe N° 52, (inédito). 45 p.
- Woodroffe, C.D., Chappell, J.M.A. Thom, B.G. y Wallensky, E., 1989. Depositional model of a macrotidal estuary and flood plain, South Alligator River, Northern Australia. *Sedimentology* 36: 737-756.

Recibido: 2 de julio, 2001

Aceptado: 7 de julio, 2004