

DINÁMICA DE LA BARRERA MEDANOSA E ISLAS DE BARRERA DE PATAGONES (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

*Luis C. CORTIZO*¹ y *Federico I. ISLA*^{1,2}

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario. Universidad Nacional de Mar del Plata, CIC Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, casilla de correo 722, (7600) Mar del Plata, Argentina.

lcortiz@mdp.edu.ar

² Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET.

Resumen: Con el objeto de analizar y describir la morfometría y dinámica de la barrera medanosa e islas de barrera del partido de Patagones, se utilizaron imágenes satelitales Landsat y CBERS de diferentes períodos, así como fotografías aéreas escala 1:20.000 e imágenes radar ALOS Palsar. Siguiendo procedimientos analógicos y digitales se lograron establecer los procesos evolutivos relacionados con la configuración de ambas barreras. La variación de los vientos y precipitaciones incidieron en un menor volumen de material sedimentario que indujeron cambios en la morfología de dunas. Los vientos de mayor velocidad, principalmente del SO y O, determinaron un potencial de deriva de arena relativa superior a 400, principalmente hacia el NE. Las tasas de migración promedio de dunas alcanzaron valores máximos de 9 m a⁻¹, superando las estimadas en otros sectores costeros de Provincia de Buenos Aires, y aumentando su movilidad durante la primavera. Una gran variedad de formas parabólicas (simples, y compuestas) fueron descritas en el sector comprendido entre punta Redonda y punta Rasa con una relación largo-ancho mayor a 3 para dunas parabólicas simples elongadas. En este sector se estimó un aumento en la fijación natural de dunas de 772 ha durante el lapso 1989-2005. En las cercanías de San Blas los médanos barjanoides libres se mueven hacia el E, mientras que existen otros médanos vegetados que cubren mayor superficie. Las islas de barrera del norte están relacionadas a un menor transporte litoral y al aumento del prisma de mareas que incrementó la estabilidad de los canales de mareas.

Palabras clave: barreras medanosas, islas de barrera, médanos parabólicos, médanos barjanoides, Patagones, Buenos Aires.

EXTENDED ABSTRACT

Barriers and barrier islands can form from the reworking of coastal plains, non-operative deltaic plains, or by the growing of complex spits. They change their shape in relation to the sedimentation rates and the evolution of the sea level, but they are also very sensitive to man-made interventions, mostly when they cause variations in the littoral drift or sediment budgets. The barrier of Patagones is located in Northern Patagonia, and spans from the estuary of the Negro River to the former delta of the

Colorado River; a coast dominated by a northward littoral drift. Part of the barrier is hanged on top of coastal cliffs, part is growing towards the depressed area of Anegada Bay, and the northern portion is being reworked from the former delta (Fig. 1).

Landsat and CBERS images from different years, ALOS Palsar images and aerial photographs were analyzed in order to estimate morphologic changes of the dunes composing these barriers. Analogic and digital processes were applied to understand the evolution of both barriers. Climate (wind and rain) is the main factor that diminishes the sand supply

to these dunes. Winds from the SW and W have a potential drift higher than 400 with a net transport towards the NE. The maximum migration rate of the dunes was 9 m a^{-1} (interval 1973-2005), higher than the migration rates estimated at other sand barriers of Buenos Aires Province. Near San Blas village, non-vegetated transverse-barchanoid dunes moved to the east (Fig. 3). Cliff-top dunes are present in Faro Segunda Barranca (Fig. 4). A great variation in the shape of parabolic dunes was observed between Punta Redonda and Punta Rasa (simple and compound) with a length-width relationship of 3 for simple elongated shapes (Fig. 5). Digital processing of Landsat images allowed calculating vegetation indices (NDVI) and change-detection maps, showing the fixation of 772 ha of dunes at the Punta Redonda-Punta Rasa area (1989-2005 period; Fig. 6).

Prior to the Holocene transgression, several tectonic depressions were scattered on top of the plateau; two allochthonous rivers, the Colorado and Negro, crossed it. During the maximum highstand, the Negro River valley became flooded while a delta established where the Colorado River discharged into Anegada Bay (Fig. 9). In Jabalí Island, Upper Pleistocene marine terraces composed mostly of gravel were partially reshaped into beach ridges. In the last 6000 years, significant changes occurred. The avulsion of the Colorado River channels made it to discharge to the north during historic times. The delta became reworked by marine processes. The northward longshore drift accumulated the sand delivered by the Negro River that climbed on top of former cliffs along the segment between Faro Segunda Barranca and Punta Redonda. Westerly winds reinforced this eastwards sediment transport either as barchans or parabolic dunes. At the end of that littoral drift, at Jabalí Island, the sand transport induced dunes to climb on top of former Holocene beach ridges. The barrier islands of the north have been related to a decrease in the littoral transport, and an increase of the tidal prism that induced the stability of the tidal inlets.

Keywords: barriers dunes, barrier islands, parabolic dunes, barchanoid dunes, Patagones, Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

Las barreras medanosas pueden originarse tanto a partir del retrabajo de una planicie costera, de una

planicie deltaica o por el crecimiento de espigas complejas. Por otro lado, estas costas arenosas pueden estar sujetas a cambios muy significativos a partir de modificaciones antropogénicas en el balance sedimentario (Elko y Davis, 2006; Milne *et al.*, 2012).

A partir de la máxima transgresión marina ocurrida hace aproximadamente 6000 años un importante volumen de sedimentos estuvo disponible para la generación de barreras medanosas en el sur de la provincia de Buenos Aires (Witte, 1916; Trebino, 1987; Weiler, 2000). El sector costero de Patagones se halla estrechamente vinculado a la distribución de sedimentos aportados por el río Negro (del Río *et al.*, 1991), y a la evolución del delta del río Colorado que definió la actual morfología costera y condicionó la provisión de sedimento (Spalletti e Isla, 2003). En la costa norte de Patagones existe un dominio de fangos y arenas que fueron retrabajados en islas de barrera (Weiler, 2000). Hacia el sur de la isla del Jabalí dominan las arenas y gravas que fueron removilizados durante los dos últimos interglaciales y conforma un paisaje heredado del Pleistoceno Superior (Weiler, 2000; Espinosa e Isla, 2011). La barrera medanosa de Patagones tiene así un desarrollo diferente en relación a la abundancia de arena provista predominantemente por el río Negro. Entre punta Redonda y punta Rasa, la barrera tiene 4,5 km de ancho. Entre punta Rasa y la desembocadura del arroyo El Guanaco, la orientación de la costa es diferente, y su ancho se limita a una única cadena de médanos (Fig. 1).

Mediante un análisis detallado de la morfología de playas es posible la comprensión de la dinámica medanosa litoral. Normalmente la composición de las dunas costeras indica su origen relacionado a la abundancia de arena en las playas. De todos modos, existen otros factores condicionantes como los climáticos (intensidad y dirección de vientos, humedad relativa, precipitaciones) y la vegetación. Los parámetros oceánicos (régimenes de marea, dirección de transporte, energía de olas) también pueden condicionar indirectamente la formación de médanos costeros (Davis y Hayes, 1984; Woodroffe, 2002; Da Silva y Hesp, 2010). Nuevas mejoras en las resoluciones espaciales y espectrales de la Teledetección han permitido detectar algunos rasgos, características y procesos de los médanos que no fueron reconocidos por los primeros satélites (Hugenholtz *et al.*, 2012).

Numerosos autores se han ocupado de la descrip-

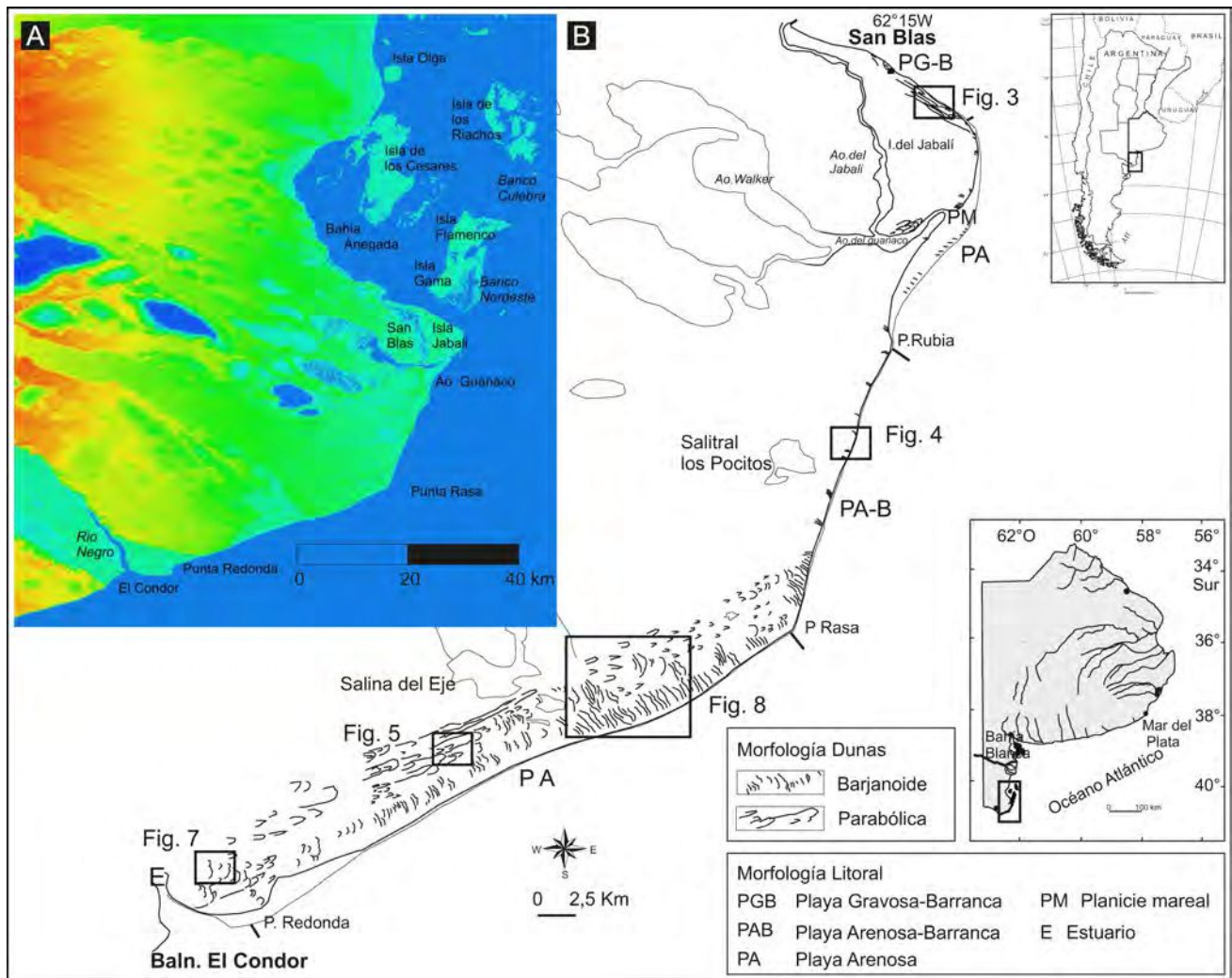


Figura 1. a) Modelo digital de terreno de la costa de Patagones. b) Barrera medanosa con caracterización de rasgos costeros. Los recuadros consignan la ubicación de las fotografías de las figuras 3, 4, 5, 7 y 8.
Figure 1. a) Digital elevation model of Patagones coast. b) Dune barrier with characterisation of coastal features. Insets show the location of the photographs in figures 3, 4, 5, 7 and 8.

ción de dunas en ambientes costeros observando factores incidentes y patrones evolutivos en su morfología y movilidad. Los médanos parabólicos de las costas inglesas fueron explicados de acuerdo a criterios de disponibilidad de arena, régimen de vientos y efectos de vegetación (Landsberg, 1956). Conceptos morfométricos y tipos de dunas (formas simples, compuestas y complejas) fueron propuestas por Mc Kee (1979). Dataciones radiocarbónicas en dunas parabólicas de Nueva Zelanda han permitido estimar pulsos de emplazamiento (Muckersie y Shepherd, 1995). Otra metodología para estimar la movilidad y estabilidad de dunas se basa en la combinación de la interpretación de imágenes satelitales y modelos digitales de terreno (Levin *et al.*, 2004). La Barrera medanosa austral de Buenos Aires

(partidos de Tres Arroyos, San Cayetano, Necochea, Lobería y General Alvarado) ha sido caracterizada a través de sus médanos transversales que se desplazan hacia el E (Cortizo e Isla, 2007; Bértola *et al.*, 2009).

El objetivo principal del trabajo es la caracterización morfológica y dinámica de la barrera medanosa e islas de barrera de Patagones, considerando además formas no operativas y los ritmos de movilidad en los últimos cuarenta años.

AREA DE ESTUDIO Y MARCO GEOLÓGICO

La barrera medanosa de Patagones comprende un sector norte que está disectado constituyendo un sistema de islas de barrera con amplios y profundos canales de marea. Al sur de la isla del Jabalí y hasta

la desembocadura del río Negro existe una barrera de 91 km de longitud con una superficie de 245 km². Entre punta Redonda y punta Rasa la barrera alcanza anchos máximos de 4,5 km adelgazándose hacia San Blas con anchos de apenas 200 a 500 m incluyendo dunas móviles y vegetadas, estas últimas de mayor extensión areal (Fig. 1).

Estudios precedentes de esta zona la han descrito como de aspecto bajo, mesetiforme, surcada por depresiones tectónicas cerradas (Witte, 1916; Frenquelli, 1950) y con aportes eólicos desde el río Colorado (Spalletti e Isla, 2003). Teruggi (1964) analizó la sedimentología a partir de un muestreo del perfil playa-duna, e indica una granulometría de arenas finas a muy finas para los médanos litorales. A partir de diferencias geomofológicas se pueden discriminar las playas del Pleistoceno Superior de las del Holoceno (Witte, 1916; Ambrosini, 1984; Trebino, 1987; Rutter *et al.*, 1989; Weiler, 2000). Comparando fotografías aéreas de diferentes años, se ha estimado una deriva litoral intensa de sur a norte que modifica significativamente la desembocadura del río Negro (del Río *et al.*, 1991). Las playas tienen comportamiento muy diferente debido a diferencias muy significativas en la dinámica y disponibilidad de sedimento (Isla y Bértola, 2003).

La información de sensores remotos ha sido utilizada para la caracterización e interpretación de la evolución de la vegetación del partido de Patagones (Pezzola *et al.*, 2004), y la evolución del delta del Colorado (Spalletti e Isla, 2003). Desde un punto de vista geológico el área se encuentra cubierta por areniscas grises oscuras con intercalaciones arcillosas finas de edad pliocena pertenecientes a la Formación Río Negro (Teruggi, 1964; Andreis, 1966); recientemente reasignada al Mioceno superior (Folguera y Zárate, 2009). En el Faro Segunda Barranca, estas areniscas están cubiertas por las gravas denominadas Tehuelches de edad pleistocena inferior. Hacia San Blas estas gravas han sido erosionadas y acumuladas en crestas de playa, perfectamente identificables en fotografías aéreas e imágenes satelitales modernas, evidenciando distintos ciclos evolutivos (Witte, 1916; Trebino, 1987; Rutter *et al.*, 1989; Weiler, 2000). Por último cabe mencionar los depósitos limo arcillosos, gravas y arenas de dunas de edad holocena del complejo estuarial de San Blas (Witte, 1916; Trebino, 1987; Isla y Espinosa, 2005; Espinosa e Isla, 2011), así como los de fondo de canal (Cuadrado y Gómez,

2010). Las arenas medanosas son finas a muy finas con significativas variaciones en los componentes livianos (6-85%) y pesados (8-53%). Los minerales livianos están dominados por pastas y alteritas (28-47%), cuarzo (24-38%) y plagioclasas (22-31%), mientras que los minerales pesados más abundantes son el hipersteno (27-42%), la augita (17-35%) y los minerales opacos (6-39%; Teruggi, 1964). La evolución del nivel del mar ha sido reconocida a través de los estudios realizados en el estuario del río Negro (Auer, 1951; 1959). Son reconocibles en la imagen radar las depresiones ocupadas por salitrales y salinas (salina del Eje, salital de los Pocitos; Fig. 1) en las cercanías del área de estudio y que tienen un control estructural que habría condicionado su evolución (Kostadinoff y Font, 1984; Marchionni *et al.*, 2009).

El área de estudio se encuentra caracterizada por un clima árido de estepa (Köppen, 1931), de bajas precipitaciones (390 mm a⁻¹) comprendida en la denominada provincia del monte (Schäbtiz, 1994). La vegetación consiste en arbustos (chañares, jarrillas) rodeados por especies herbáceas (*Panicum Urvilleanum*, *Stipa*) y especies psammófilas (*Sporobolus Rigens* y *Hyalis argentea*); esta última asociación típica de dunas fijas (Cabrera, 1941). Los suelos se caracterizan por su bajo contenido en materia orgánica y baja retención de humedad (Cappannini y Lores, 1966).

Los vientos predominan del sector NO y N siendo los más veloces del sector S y SO (Servicio Meteorológico Nacional, 1992). Los parámetros oceanográficos que inciden en la morfología del frente costero son la altura de olas, los rangos de marea y la energía de olas (Davis y Hayes, 1984; Woodroffe, 2002). En el sector de San Blas y Faro Segunda Barranca domina el régimen micromareal semidiurno con carácter reflectivo en sus playas; aunque en el Balneario El Cóndor el régimen se hace mesomareal (Isla *et al.*, 2001). De la tendencia migratoria del canal de desembocadura del río Negro se determinó una deriva regional de sur a norte (del Río *et al.*, 1991). Las bajas precipitaciones restringen los efectos hídricos a tal punto que la desembocadura del arroyo Walker fue capturada por el canal de marea denominado arroyo Jabalí y desviado hacia la bahía San Blas (Isla y Espinosa, 2005). Tanto estos sectores de médanos vivos como los de marisma de Patagones han sido destacados en el sistema de áreas naturales protegidas de la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOS

La información básica utilizada en este trabajo fue la siguiente:

1) Cartas Topográficas escala 1:50.000 del IGM años 1965 y 1966 (Estación Viedma, El Cóndor, Cabaña La Luisa, Punta Rasa, Faro Segunda Barranca, San Blas, y Estancia La Serrana). Dicho material fue digitalizado y georreferenciado en coordenadas Gauss Krugger faja 4, confeccionándose un mosaico que abarcó toda el área de estudio y sobre el que se obtuvieron cotas relativas de terreno y resaltos topográficos significativos incidentes en la movilidad de dunas.

2) Fotografías aéreas escala 1:20.000 del MOSP de Buenos Aires de 1981 y 1985 fueron digitalizadas mediante escáner de mesa a 600 dpi obteniendo una resolución espacial que permitió realizar procedimientos tendientes a la caracterización morfométrica de dunas y obtención relativa de tasas y acimut de migración.

3) Las imágenes satelitales Landsat utilizadas fueron de los sensores MSS, TM y ETM de los años 1973, 1989, 2005 y 2010, las cuales fueron corregidas por errores de la atmósfera aplicando metodología sencilla según análisis de histogramas, obteniendo valores de reflectividad semejantes al momento de toma de la imagen. Mediante el reconocimiento de puntos homólogos se refirió el material a coordenadas Gauss Krugger faja 4 utilizando interpolación cúbica. Asimismo se contó con la información de imágenes pancromáticas del satélite CBERS 2B (cámara HRC) con una resolución espacial de 2,5 m del año 2008. Se unificó la resolución espacial del satélite Landsat en 57 x 79 m (según la imagen MSS) a los fines de aprovechar la antigüedad de dichas imágenes que al ser procesadas digitalmente permitieron obtener mediciones sobre migración, vectorizando la posición de la cresta de dunas en los distintos períodos y observando su desplazamiento promedio. Este método de análisis de movimientos de médanos se utilizan desde los años 80 y es considerado el más recomendable cuando se busca analizar migraciones morfológicas (Hugenholtz *et al.*, 2012). En el entorno Idrisi 3.2 (Eastman, 1999) se efectuaron realces de contraste y composición de bandas en falso color RGB 432 para establecer mapas de cambio del uso de suelo distinguiendo vegetación y morfología de dunas. Otro procedimiento consistió en la obtención del índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI) entre imágenes de fechas semejantes.

4) Se utilizaron además imágenes del radar ALOS Palsar que registran pulsos emitidos en la banda L (23 cm de longitud de onda) con ventajas de penetración en la arena.

5) Los métodos de clasificación supervisada (*Maklike*) y no supervisada (*Isodata*) permitieron estimar la superficie (en hectáreas) abarcada por dunas libres, parcialmente vegetadas y vegetadas en el período 1989-2005. Técnicas de enmascaramiento binario permitieron la superposición de distintos sectores con la fotografía aérea para análisis de detalle, así como la estimación de la tasa de cambio de dunas libres a semifijas, y a totalmente vegetadas.

6) El modelo digital de terreno fue obtenido del sitio <http://srtm.csi.cgiar.com> y procesado con el programa Global Mapper v.7.04. La topografía mesetiforme varía entre 0 y 13 m.

7) Las estadísticas climatológicas fueron obtenidas de la estación Viedma (40° 51' S y 63° 01' O) situada a 30 km al NO de punta Redonda. Esta distancia es considerada mínima para que las mediciones no estén sesgadas por el efecto de brisa marina o diurna (Oke, 1978). Se confeccionaron rosas de vientos, diagramas de velocidad por dirección, y análisis por estaciones del año durante el período 1971-1990. Aplicando la metodología propuesta por Fryberger (1979) se obtuvo el potencial de deriva relativo de arena (DP) en unidades vectoriales, así como la variabilidad direccional de los vientos (DP/RDP) y el vector resultante de transporte neto (RDD). Estos mismos potenciales de deriva relativa de la arena se calcularon para cada estación del año. Los valores de velocidad del viento en km h⁻¹ fueron convertidos a nudos y se consideró un factor de rugosidad empírico. Con el objeto de calcular el transporte de arena se utilizó la fórmula

$$Q = V^2 (V - V_s) * T$$

donde Q es la cantidad de sedimento transportado en un intervalo t, V es la velocidad del viento en nudos, V_s es la velocidad mínima para que la arena sea puesta en saltación, y T es el tiempo en que el viento sopla en una dirección determinada.

Esta fórmula debe ajustarse a factores del relieve, vegetación y diámetro de los granos de arena (Tomazelli 1993; Tsoar *et al.*, 2009). A partir de estadísticas de vientos se calculó el valor de DP (potencial de transporte) mediante planilla de cálculo considerando las velocidades mayores

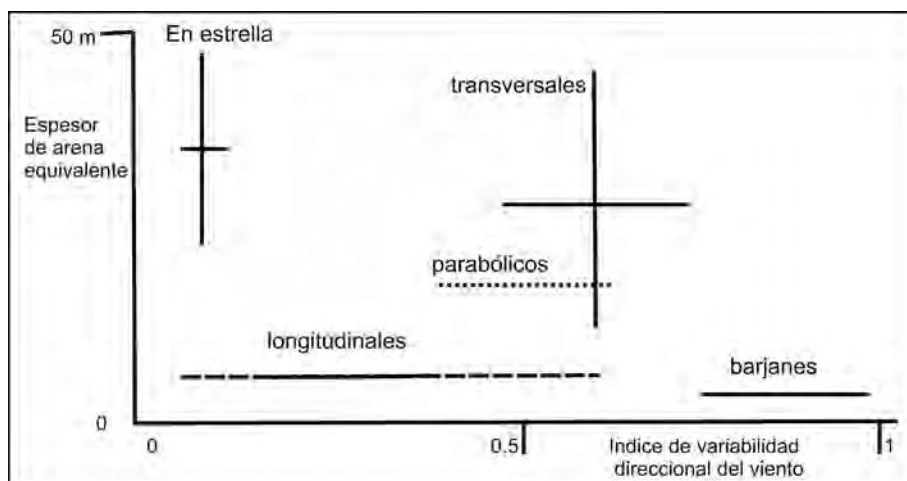


Figura 2. Campos de estabilidad de tipos de médanos de acuerdo a los potenciales de deriva (RDP/DP) y espesor de arena equivalente (modificado de Hesse, 2011).

Figure 2. Stability fields of dune types according to the drift potential (RDP/DP) and sand thickness (modified after Hesse, 2011).

a 12 nudos para 8 direcciones de viento. DP es la cantidad relativa de arena que potencialmente puede ser transportada por el viento en una determinada dirección (expresada en unidades vectoriales UV). Las “rosas de arena” se confeccionaron por métodos gráficos y escalas de referencia a partir de la cual se obtuvo un vector resultante (RDD). La magnitud de dicho vector expresa el potencial de deriva resultante (RDP). El cociente entre DP y RDP constituye el índice de variabilidad direccional del viento. Vientos unidireccionales se aproximan a la unidad y vientos de direcciones variables tienden a 0. Valores de DP mayores a 400 UV son ambientes de alta energía eólica, entre 200 y 400 son de energía moderada, y menores a 200 de baja energía. Con respecto a los índices RDP/DP cuando son menores a 0,3 son vientos de poca variabilidad direccional, entre 0,3 y 0,8 son de variabilidad moderada, y mayores a 0,8 son de gran variabilidad. Considerando el cociente entre la deriva potencial (RDP) y el espesor de arena equivalente se pueden determinar campos de estabilidad de dunas de diferente morfología (Hesse, 2011; Fig. 2).

RESULTADOS

Morfología de la barrera de Patagones

Por tramo de costa se han consignado sus características morfométricas (Tabla 1). Se diferenciaron las islas de barrera oceánicas de las limitadas por el alcance de olas (*fetch-limited*, según Pilkey *et al.*, 2009) que se ubican hacia el interior de la Bahía Anegada. Algunos tramos de esta barrera han permanecido fijos durante el Holoceno mientras

existen porciones que han evolucionado rápidamente en épocas recientes.

Banco Culebra. Este banco estuvo relacionado a la isla de los Riachos. Actualmente es una sucesión de 4 crestas de playa separadas por canales de sobrelavado. Estas cuatro crestas emergidas miden 3,5, 1,8, 1,8 y 7,7 km de largo con anchos de 150-350 m. **Banco del Nordeste.** Relacionado a las islas Flamenco y Gama, posee una acumulación de 3000 por 500 m en el sector SE del banco. La isla de los Césares, ubicada unos 8 km hacia el interior de la bahía, es parte de una barrera limitada por el *fetch* (en el sentido de Pilkey *et al.*, 2009), de edad holocena y perteneciente al nivel de terraza 2 (*sensu* Weiler, 2000). Si bien esta barrera no está operativa y se encuentra rodeada por marismas, su origen estaría relacionado a las barreras adosadas a la costa en la desembocadura del canal Villalonga.

San Blas-Arroyo del Guanaco. El sector de la isla Jabalí es una faja de 4 km de longitud y 700 m de ancho de playas fósiles, comprendido entre las inmediaciones del pueblo de Bahía San Blas y la denominada baliza La Ballena con una dirección de la línea de costa NO-SE. Las principales morfologías de dunas son de aspecto barjanoide (dunas móviles) con alturas de 3 y 6 m (Fig. 3). Hacia el continente se hacen más alargadas, irregulares y muy vegetadas, siguiendo el mismo rumbo de las antiguas crestas de playa compuestas de grava y arena.

Arroyo del Guanaco-Punta Rasa. La longitud de la línea de costa comprendida en este sector es de 28 km de orientación N-S. La faja de barrera medanosa

Lugar	Tipo	Azimut	Espaciado (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Pendiente barlovento (grados)	Pendiente sotavento (grados)	Long. entre brazos (m)	Long. brazos (m)
San Blas- A del Guanaco	TB	N150	28	21	89	11°	31°		
A.del Guanaco-Punta Rasa	TB	N160	21	30	80	10°	30°		
	PC							150	300
Punta Rasa-Punta Redonda	TB	N150	140-180	122	224	10°	31°		
		N180							
		N170	150	120	220	12°	30°		
		N150	70	80	170	10°	32°		
	PS							70-150	150
	PC							250	1100

Tabla 1: Datos morfométricos del campo de dunas (TB: médanos transverso-barjanoides; PS: Parabólicos simples; PC: Parabólicos compuestos).

Table 1. Morphometric data from the dune fields (TB: transverse-barchanoid dunes; PS: Simple parabolic dunes; PC: Composed parabolic dunes).

es muy angosta (70-250 m). Este tramo se caracteriza por formas barjanoides que se emplazan como dunas colgadas sobre una barranca de 9 m de altitud o como rampas de acuerdo a la estación del año. Desde punta Rubia y hacia el NE las alturas son menores y se evidencia una primera línea de dunas de escasa altura, de una longitud de 13 km, y separada del continente por un sector de planicie de mareas. En la desembocadura del arroyo del Guanaco existen dunas parabólicas elongadas y anidadas (Fig. 4).

Punta Rasa-Punta Redonda. La orientación de la línea de costa en este sector presenta un azimut N60, con un ancho de playa entre 100 y 250 m. La topografía es de aspecto mesetiforme baja con presencia de un bajo intermedio (bajo Siso) cercano a la salina del Eje. El área monitoreada abarca unos 45 km de longitud por 5 km de ancho. Se han reconocido formas simples tipo barján que han evolucionado en morfologías barjanoides y parabólicas de acuerdo al grado de fijación de la vegetación. En el sector próximo a la desembocadura del río Negro hay formas barjanoides que son alimentadas desde el sector SO. También es de destacar la presencia de dunas de aspecto parabólico que fueron clasificadas como lobadas (relación largo-ancho entre 1 y 3) y elongadas (relación >3); estas últimas muy generalizadas en este sector con longitud de brazos de hasta 1700 m. Algunas variantes parabólicas fueron clasificadas como formas compuestas (anidadas o

digitadas) indicando la influencia de vientos del N y NO y menor velocidad de transporte, siendo el volumen sedimentario de estas geoformas escaso. Se ha reconocido además, la ausencia de rasgos morfológicos como huellas de migración originados por variaciones de la capa freática. Desde el centro y hacia punta Rasa aparece una faja de 12 km de longitud y 4 km de ancho de dunas parabólicas cortas fijadas con mayor densidad de vegetación (Fig. 5).

Desde la zona central y hacia el NE se aprecian las mayores acumulaciones de arena conformando cadenas de dunas cuyas alturas varían entre 5 y 11 m. Ello se encuentra relacionado a playas más anchas con mayor disponibilidad de sedimento seco. En este conjunto barjanoide son también apreciables rasgos de alargamiento y modificación de las crestas según vientos del N y NO, inclusive conformando dunas reticuladas (*sensu* Warren y Kay, 1987) hacia el sector próximo a la costa.

Dinámica eólica

Utilizando las estadísticas decenales del Servicio Meteorológico Nacional correspondientes a la estación Viedma (períodos 1971-1980 y 1981-1990) se analizó la variación entre los vientos dominantes del N y NO. Los de mayor velocidad provienen del S, SO y O con una velocidad promedio de 24 a 30 km h⁻¹. Estos valores superan los mínimos requeridos para el



Figura 3. Fijación natural y migración de médanos barchanoides hacia el continente (Isla Jabalí, 1985-2005)
Figure 3. Natural fixation and onshore migration of barchanoid dunes (Jabalí Island, 1985-2005).

inicio del movimiento por saltación de arenas finas ($5,5 \text{ m s}^{-1} = 20 \text{ km h}^{-1}$; Bagnold, 1954). Los vientos del E y SE son de menor frecuencia pero proveen mayor humedad. Las precipitaciones decenales promedio fueron de 362 y 380 mm (1971-1990) con una humedad relativa del 62%. Estas condiciones convierten a Patagones en el partido de menores precipitaciones de la Provincia de Buenos Aires y originan un elevado riesgo erosivo de sus suelos areno-limosos (Cappannini y Lores, 1966; Pezzola *et al.*, 2004). Los valores de migración obtenidos en el período 1971-1980 y 1981-1990 fueron de 923 y 953 unidades vectoriales, respectivamente. Estos valores significan ambientes de alta energía ($UV > 400$). Los valores del índice de variabilidad direccional (RDP/DP) tendieron a la unidad lo que indica una baja

variación en los vientos de mayor transporte de arena (SO, S y O). El vector resultante de empuje en dichos decenios fue de 60° y 45° lo que es coincidente con las principales direcciones de avance y morfologías de las dunas descritas (barjanoides-parabólicas) las cuales son modificadas en su morfología según vientos más frecuentes y de menor intensidad (NO-N). Los potenciales de deriva eólica indicaron que el mayor transporte ocurre durante primavera y verano.

Migración de dunas

Utilizando la alta reflectividad espectral de la arena en la banda roja fue posible identificar los frentes de avances de dunas barchanoides. Las polilíneas al resultar irregulares fueron promediadas teniendo en cuenta los sectores de máximo avance y los mínimos, tomando como zona de mejor desarrollo al sector de punta Redonda-punta Rasa (Fig. 6) aunque el resto de la barrera medanosa fue monitoreado por comparación entre fotografías aéreas e imágenes satelitales. En el período 1989-2005 se registraron máximos de migración al E de 9 m a^{-1} , que indican mayor velocidad de los vientos desde del sector patagónico. Además en este sector existe una vegetación de pastizales y matorrales halófilos. Las formas de barján próximas a punta Redonda (Fig. 6) han migrado a un ritmo menor con tendencia a la parabolización y control de la vegetación. En este tramo entre punta Redonda y punta Rasa se registraron cambios de dunas móviles a fijas en 772 ha sobre un área total de 21.900 ha (Fig. 7). En el sector central donde aparecen cadenas de dunas, existe mayor aporte sedimentario por acumulación hacia un bajo topográfico de condiciones salinas.

En el sector norte, entre punta Rasa y arroyo del Guanaco, existe un aumento de la extensión de dunas no vegetadas asociadas a la dinámica de dunas colgadas y condiciones más secas. En el tramo cercano a San Blas se vuelve a observar una tendencia a la fijación de dunas por la vegetación, aumentando de 105 a 155 ha (1989-2005) y disminuyendo en dunas libres de 67 a 32 ha en igual período. El sentido de migración persiste hacia el este. Esta migración de dunas es más evidente cuando se aplican filtros gamma a las imágenes de radar. La colonización por vegetación enmascara las cicatrices de reactivación que a su vez destaca los núcleos medanosos del entorno (Fig. 8).

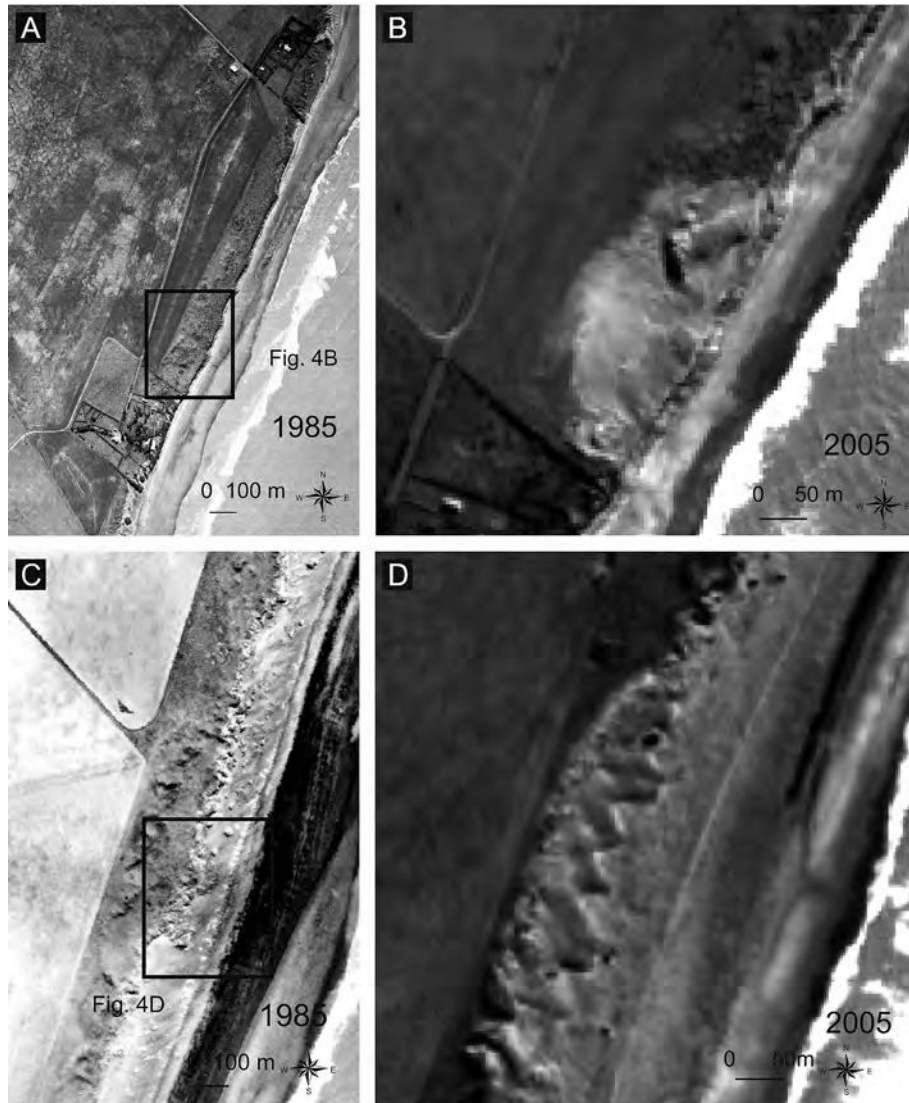


Figura 4. Médanos barchanoides colgados entre arroyo del Guanaco y punta Rasa. En 1985 estaban fijados y aparecen reactivados en la imagen de 2005.

Figure 4. Barchanoid, cliff-top dunes between Arroyo del Guanaco and Punta Rasa. In 1985 they were stabilised by vegetation and became reactivated in the image of 2005.

ESQUEMA EVOLUTIVO

La costa del partido de Patagones evolucionó entre un delta al norte y un estuario al sur. El río Colorado transportó fangos a la bahía Anegada hasta que su desembocadura se orientó hacia el NE, fuera de la bahía (Sapalietti e Isla, 2003). El río Negro, en cambio, aportó arenas como carga del fondo hacia la plataforma continental producto de la erosión de las barrancas compuestas por las areniscas de la Formación Río Negro (Andreis, 1966). La región tiene características de un paisaje heredado en tanto que gran parte de las arenas bajo transporte eólico o marino fueron originadas por la erosión de esas

“areniscas azuladas”. Las depresiones tectónicas fueron ocupadas por salinas (La Piedra, Algarrobo, Barrancoso, Grande, del Inglés, del Eje) y una cubierta uniforme de rodados Tehuelches cubría toda la planicie costera. Los dos ríos atravesaban esa planicie con la diferencia que el Negro lo hizo erosionando un valle de 13 km de ancho y 25-30 m de profundidad (Fig. 9). Remanentes de islas de barrera del máximo transgresivo del Pleistoceno Superior se extendían al norte y sur del canal Villalonga, al norte del Balneario Pocitos y al sur del pueblo de Bahía San Blas (Witte, 1916; Trebino *et al.*, 1987; Rutter *et al.*, 1989; Weiler, 1993,2000).

La transgresión del Holoceno inundó ambos valles

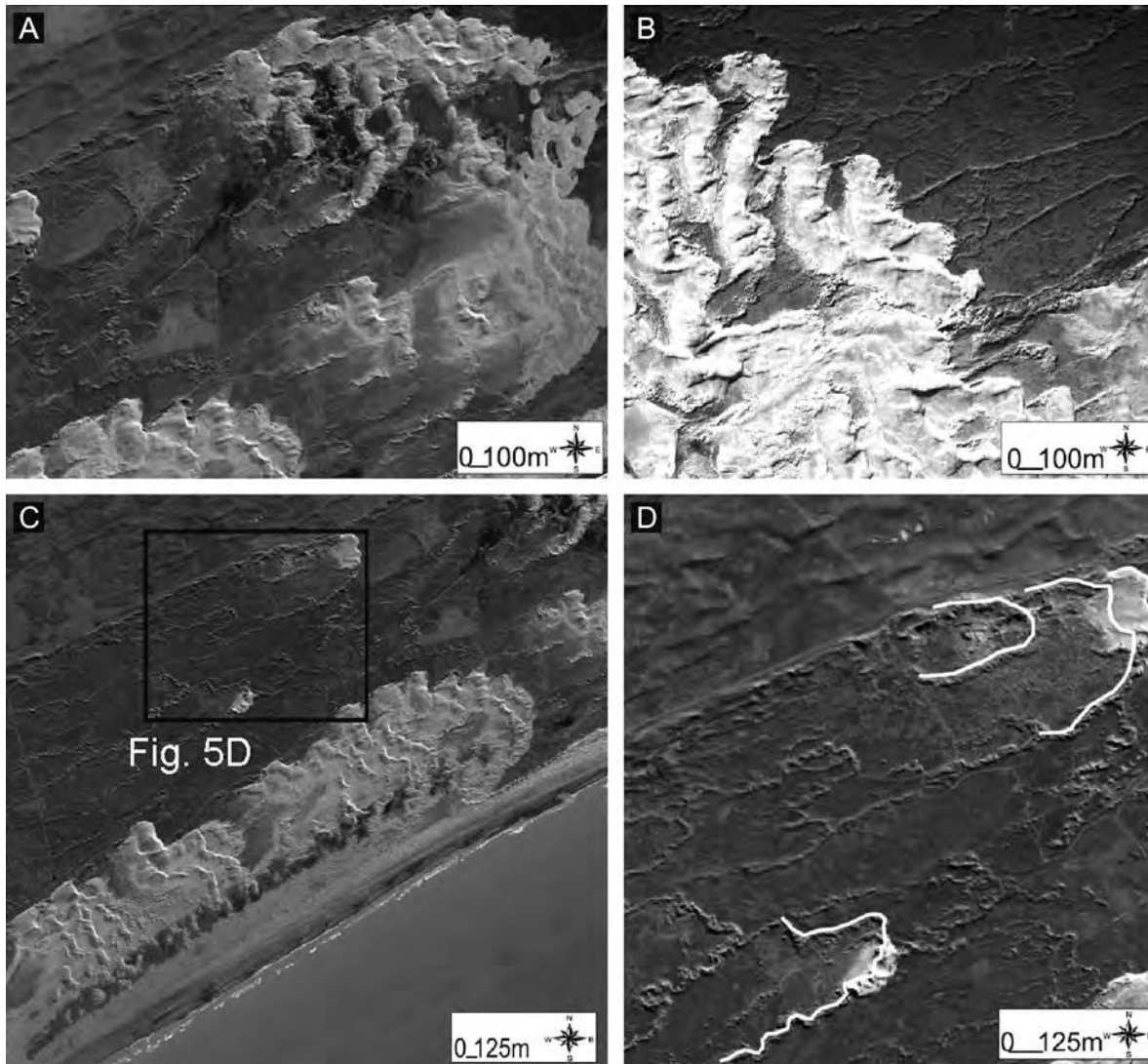


Figura 5. Marcas de reactivación entre Punta Rasa y Punta Redonda. a-b) Médanos barjanoides y parabólicos. c-d) Médanos parabólicos.

Figure 5. Reactivation marks between Punta Rasa and Punta Redonda. a-b) Barchanoid and parabolic dunes. c-d) Parabolic dunes.

fluviales; el del Negro conformado por barrancas de más de 20 m de altura, y el del río Colorado retrabajando como islas de barreras extensas áreas de su planicie deltaica (Auer, 1951; Weiler, 2000; Spalletti e Isla, 2003; Melo *et al.*, 2003). La regresión originó el desarrollo de la planicie aluvial del río Negro (Auer, 1959) y la construcción del delta del Colorado en el norte de la Bahía Anegada (Codignotto y Marcomini, 1993; Weiler, 2000). En la zona del Canal Villalonga, se mapearon antiguas barreras correspondientes al máximo transgresivo (Weiler, 2000). En los sectores donde los meandros de ambos ríos acumularon arena, los vientos del oeste los transportaban hacia la costa. Así se establecieron dos corredores eólicos que surgieron del valle de

Colorado (corredor de Ombucta y corredor de Mayor Buratovich; Spalletti e Isla, 2003; Isla y Bértola, 2003), y los médanos parabólicos derivados del río Negro en el tramo Punta Redonda-Punta Rasa. El corredor de Mayor Buratovich estaba activo en los años 60 con médanos vivos denominados “cerros Colorados” (Cappannini y Loes, 1966; p. 56). La abundancia de arena provista por el río Negro alimentó el transporte litoral hacia el norte (del Río *et al.*, 1991). Sin embargo, al norte de punta Rasa la alimentación de arena era menor, la orientación de la costa diferente, y sectores de erosión se localizaron en el tramo del Faro Segunda Barranca. Este sector recibía ocasionalmente arena que trepaba hacia el tope de los acantilados, que también estaban sujetos a las

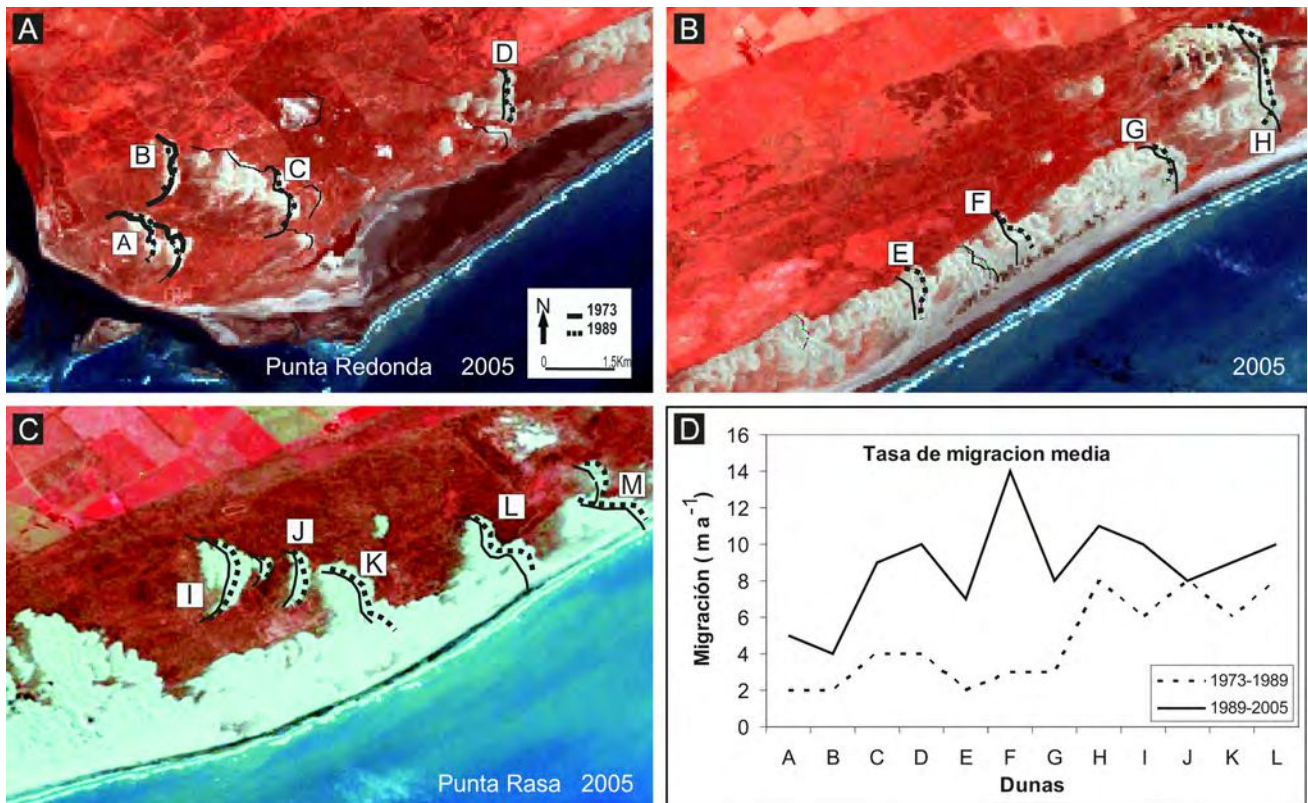


Figura 6. Migración de médanos barjanoides entre 1973, 1989 y 2005, sobrepuestos a una imagen de 2005. a) Punta Redonda. b) Sector punta Redonda-punta Rasa. c) Punta Rasa. d) Tasas de migración durante los intervalos 1973-1989 y 1989-2005.
Figure 6. Migration rates of barchanoid dunes between 1973, 1989 and 2005, superimposed on an image of 2005. a) Punta Redonda. b) Punta Redonda-Punta Rasa section. c) Punta Rasa. d) Migration rates during the intervals 1973-1989 and 1989-2005.

tormentas del SE. Así se puede explicar la presencia de dunas de arena fina en el tope de acantilados (*cliff-top dunes*, Isla y Bértola, 2003) similares a los descritos entre Miramar y Claromecó (Cortizo e Isla, 2007; Bértola *et al.*, 2009). Ese transporte eólico de arena hacia el continente es más evidente en la región de San Blas, donde los médanos litorales fueron sepultando playas holocenas de grava. Ese transporte hacia la costa (*onshore*) y la deriva litoral provocaron la obstrucción de la desembocadura del arroyo Walker con posterioridad a 1833 (Isla y Espinosa, 2005). En la zona de San Blas, se han localizado abanicos de sobrelavado compuestos de grava que han sido atribuidos a efectos de tormentas dentro de la bahía (Isla y Bértola, 2003). Estos mismos efectos, sumado a la deriva litoral hacia el norte, son responsables de las crestas de playa que se ubican en los bordes orientales de los bancos de la bahía Anegada (Nordeste y Culebra). La costa norte está evolucionando a partir de un delta que dejó de ser operativo en el norte de bahía Anegada (islas de la Confusión; ver Spalletti e Isla, 2003), a un

sistema de islas de barrera que se nutre de la porción arenosa de aquellos viejos depósitos deltaicos (Fig. 9). De este modo, a grandes rasgos se cumple el modelo de retrabajo de deltas no operativos en islas de barrera, tal cual fue originalmente descrito en el delta del Mississippi (Penland *et al.*, 1985). La mayor diferencia con este modelo es que en el caso del delta del Colorado, su conformación estuvo asociada a la generación de crestas de playa durante la fluctuación del nivel del mar (Spalletti e Isla, 2003).

DISCUSION

La distribución mundial de barreras medanosas obedece a la tendencia del nivel del mar y la componente tectónica. Mientras que las islas de barrera relacionadas a planicies costeras dominan en el Hemisferio Norte donde el nivel del mar ha continuado subiendo en los últimos 5000 años, en el Hemisferio Sur con niveles del mar estables o con leve descenso dominan las islas de barrera relacionadas a desembocaduras deltaicas (Stutz y

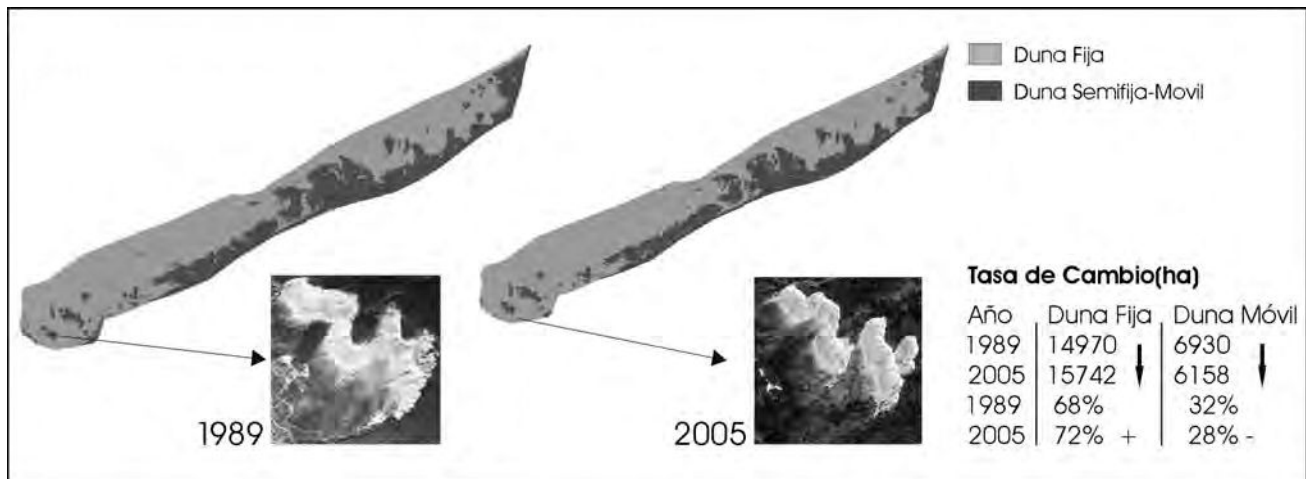


Figura 7. Estabilización de dunas móviles entre punta Rasa y punta Redonda para el intervalo 1989-2005.

Figure 7. Stabilization of mobile dunes between Punta Rasa and Punta Redonda for the 1989-2005 interval.

Pilkey, 2011). Respecto a la componente tectónica, 49% de las islas de barrera se emplazan en márgenes pasivos, 24% en márgenes activos y 27% a lo largo de mares marginales (Glaeser, 1978). Existen otras variables a tener en cuenta en la evolución de las barreras litorales como el gradiente y topografía del sustrato, los aportes de sedimento y la acción de olas, mareas y vientos (Hesp y Short, 1999). La Barrera Oriental de Buenos Aires se desarrolló a un nivel relacionado a la fluctuación del nivel del mar, mientras que la Barrera Austral se desarrolló en el tope de viejos acantilados (Isla *et al.*, 1996). Las islas de barrera de las Islas Frisias (Holanda y Alemania) han aumentado su longitud y su área en los últimos años. Esto ha provocado la disminución del área de drenaje y del ancho de los canales mareales; y esto también ha originado que sus extremos se hayan curvado aún más (FitzGerald y Penland, 1986). Con base en estos cambios históricos se han idealizado modelos evolutivos en relación al ascenso del nivel del mar (Eitner, 1996) o por subsidencia del delta. Estas variaciones prácticamente naturales de las Islas Frisias contrastan con las islas de barrera relacionadas con el delta del Mississippi. Las islas Timbalier se caracterizan por erosión en sus frentes y acumulación en sus flancos. Similares procesos de erosión de frentes y segmentación se dan también en las islas Dernieres (Penland y Boyd, 1981). En cambio, las islas Chandeleur tienen más efectos de deriva litoral y su erosión disminuye hacia el norte (Penland y Boyd, 1981). La evolución de estas islas de barrera ha sido objeto de aplicaciones GIS (*Geographic Information Systems*) y CAD (*Computer*

Aided Design) para establecer si ambos lados migran (*landward rollover*) o si las islas se enangostan (*in-place breakup*; Mc Bride *et al.*, 1991). Estas tendencias morfológicas no se cumplen cuando las islas de barrera están sometidas a efectos episódicos como huracanes (Stapor, 1973) o donde existen significativos cambios inducidos por actividades humanas (Morton, 1979; FitzGerald *et al.*, 1984; Elko y Davis, 2006).

La barrera medanosa de Patagones se encuentra seccionada en el norte, y colgada sobre acantilados en el sur, y ha evolucionado rápidamente en los últimos doscientos años (Isla y Espinosa, 2005). Mientras que en las playas holocenas dominan las gravas -retrabajadas de niveles alto del Pleistoceno Superior-, en los más recientes (playas y dunas) dominan las arenas. Algunas de las islas relevadas en el delta del Colorado por el piloto José de la Peña en 1795 han desaparecido por avulsión (Spalletti e Isla, 2003). Sin embargo, en los últimos años se han dado procesos de acumulación que han transformado antiguos bancos intermareales (Culebra, Nordeste) en islas de barrera con acumulación de crestas de playa y dunas frontales. Las islas de barrera Gama, Flamencos, de los Césares y de los Riachos han quedado como remanentes, y sus bancos orientales son los que ganan altura. Ambos sistemas de barrera, la barrera externa oceánica y la interna dominada por el *fetch*, se habrían formado en dos intervalos diferentes de la regresión holocénica. La septación de la barrera en islas que limitan las bahías Anegada y San Blas obedeció al aumento de sus prismas de marea durante los máximos transgresivos que

requirieron mayores áreas de flujo. Las zonas más profundas de canal de marea de San Blas están dominadas por el refluo (Cuadrado y Gómez, 2010) que aseguran el autodragado.

Las condiciones necesarias y que controlan el desarrollo de dunas son la disponibilidad de arena, los vientos dominantes y su intensidad, el tipo y densidad de vegetación -que asociada al régimen de lluvias y humedad relativa incide en la fijación de dunas y cambio de morfologías-, y por último el factor topográfico el cual produce variación y separación de flujos actuantes en el campo de dunas (Pye y Tsoar, 1990). Las mediciones meteorológicas de Viedma son representativas para el sector medanoso entre las puntas Redonda y Rasa en tanto no tienen los efectos de brisa marina. Existen autores que consideran que esta brisa “de día”, es responsable de sólo 2 a 5 m s⁻¹ y afecta hasta 30 km de la costa y hasta alturas de 1-2 km (Oke, 1978). Otros autores les atribuyen velocidades del viento de hasta 10 m s⁻¹, en su mayor velocidad entre las 13 y 14 horas (Sonu *et al.*, 1973). Si bien el potencial de transporte por el viento es significativamente menor cuando la humedad afecta las dunas costeras (Arens, 1996), este no sería el caso para la Barrera de Patagones, al menos para su porción más extensa en el sur del partido (punta Rasa a punta Redonda).

El clima semiárido dominante conlleva alto riesgo de erosión de los suelos arenosos del partido de Patagones (Cappannini y Lores 1966). Dicho material es transportado por acción eólica como intercambio con la zona litoral, contribuyendo con los volúmenes de arena provistos por transporte litoral, y llevados en suspensión desde la playa distal por los vientos hacia el continente. Las principales morfologías de dunas parabólicas descritas como elongadas (sector Punta Redonda-Bajo Siso) indican ciclos de mayor actividad eólica y marcada unidireccionalidad con un mayor volumen sedimentario inicial y un sustrato más seco. En otro ciclo de menor intensidad en la velocidad de los vientos o mayor humedad, la vegetación fijó los laterales desarrollando dunas parabólicas de menor envergadura y de brazos más cortos, retrabajadas por vientos del N y NO (formas compuestas digitadas y anidadas). Respecto a las condiciones necesarias en la formación de estas dunas es útil analizar el modelo aproximativo propuesto por Hack (1941) donde se tienen en cuenta la abundancia de sedimento, vegetación e intensidad de vientos para la creación de dunas parabólicas.

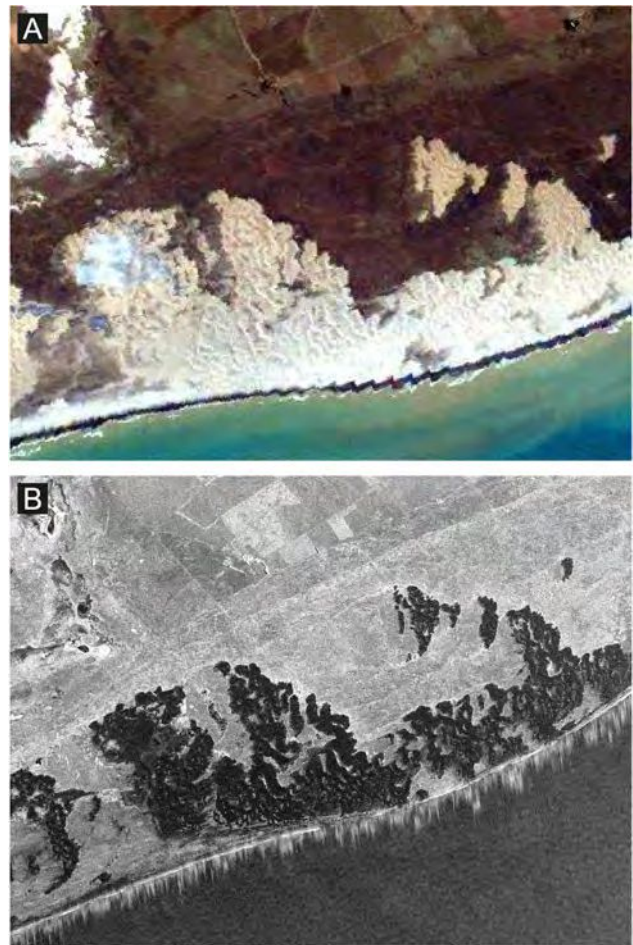


Figura 8. Comparación de imágenes satelitales compuestas TM de enero de 2010 (a) con imágenes de radar, ALOS Palsar banda L de septiembre de 2010 (b). Nótese la individualización de los médanos en las imágenes de radar.
Figure 8. Comparison of composed satellite images (a) with radar images, ALOS Palsar, Band L (b). The dunes are better isolated in the radar image.

Estos rasgos (formas elongadas-menor volumen de arena) significan una notable diferencia con dunas de igual morfología descritas para la barrera medanosa austral de la provincia de Buenos Aires, que se presentan con menor longitud en sus brazos pero mayor volumen sedimentario en condiciones de mayor humedad (Cortizo e Isla, 2007). Las dunas parabólicas más hacia el interior que limitan con los lotes agrícolas serían las más antiguas y de crestas suavizadas; esto fue propuesto para otros sectores de la provincia de Buenos Aires por Frenguelli (1950). La franja medanosa entre punta Redonda y punta Rasa se caracteriza por una topografía que se eleva desde la costa hacia los sectores terminales de la terraza fluvial del río Negro (sentido NE-SO). Posee playas estrechas y bajo aporte sedimentario principalmente

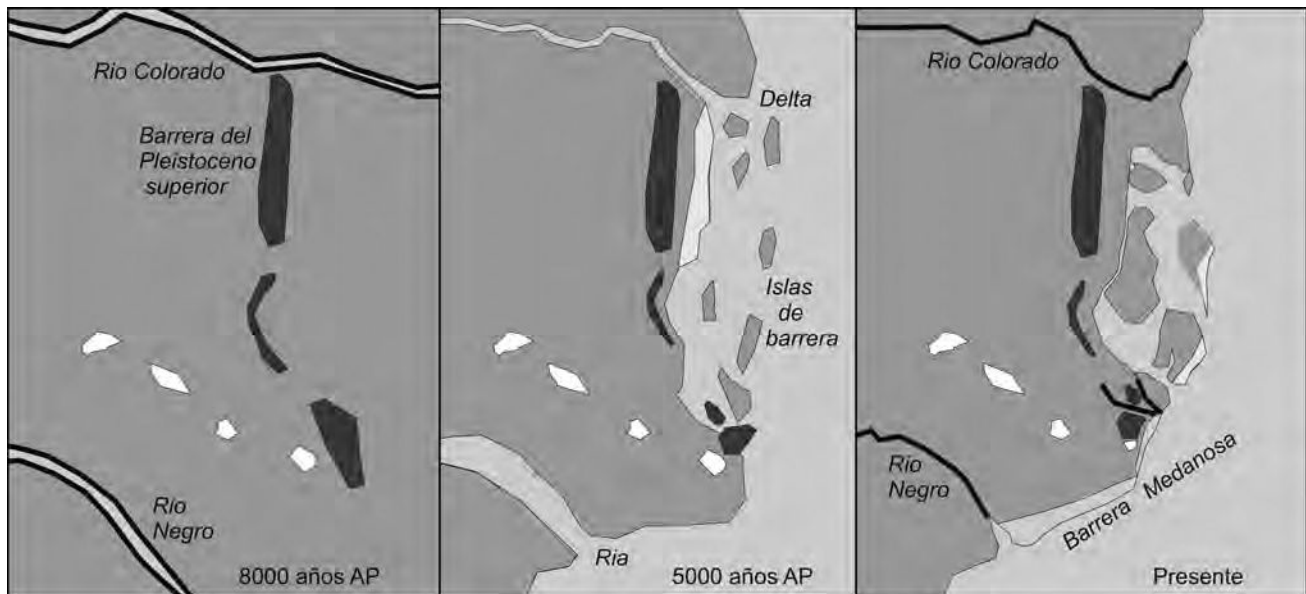


Figura 9. Esquema evolutivo de la costa del partido de Patagones (modificado de Weiler, 1993,2000).

Figure 9. Evolutive sketch of the Patagones coastline (modified after Weiler, 1993,2000).

a lo largo de los 10 km al NO de Punta Redonda. La planicie mareal arenosa de ese lugar está conformada por bancos y canales, que restan aporte de sedimento seco a ser transportado hacia el continente. Esto conlleva la presencia de dunas barjanoides que en la actualidad se hallan en proceso de degradación a formas parabólicas, y conciden con los resultados de experiencias de simulación de los efectos de la vegetación en la transformación de médanos barjanoides a parabólicos (Durán y Herrmann, 2006).

Las características morfodinámicas de las playas reflectivas (Isla y Bértola, 2003) son correlacionables con la energía y disponibilidad de sedimento. La existencia de grava en las playas de San Blas disminuyen los aportes de arena. En cambio, 6 km al E del pueblo, los aportes de arenas son mayores por la existencia de amplias playas. Los médanos del Faro Segunda Barranca se reconocen como dunas colgadas en acantilado activo y rampas de dunas (*cliff-top dunes* en el sentido de Jennings, 1967; Paskoff y Manríquez, 2004; Bértola y Cortizo, 2005). Estas dunas son comunes en diferentes países del Hemisferio Sur (Brasil, Chile, Australia, Sudáfrica) en los que el nivel del mar se mantuvo aproximadamente constante y la disponibilidad de arena en la playa permitiera que trepara por rampas hasta el tope de viejos acantilados (Hesp y Short, 1999; Short, 1988). Aquellos campos medanosos en que las dunas sobrepasan un cabo se denominan del tipo “*headland-bypass*” (McLachlan *et al.*, 1994).

En el litoral asturiano, se han discriminado como “dunas colgadas” para aquellas que ocupan áreas planas encima de acantilados, y “dunas remontantes” para las que se adosan a acantilados o superficies inclinadas (Flor, 1983).

Las dunas barjanoides del sector entre punta Redonda y punta Rasa han migrado $5-9 \text{ m a}^{-1}$ hacia el E, incluyendo dunas libres y semifijas, y en forma similar a valores descritos en otros sitios. El transporte por deriva litoral hacia el NE de $900.000 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ estimado para la zona próxima a la desembocadura del río Negro (Lanfredi, 1986) está en relación con las dunas libres que aparecen en el sector central del bajo Siso hacia el NE en una amplia faja y reaparecen hacia la inflexión costera en punta Rasa (los de mayor altura de la región). Estas dunas se iniciaron luego del máximo transgresivo del Holoceno hace 6000 años (Isla *et al.*, 2001). En San Blas las acumulaciones modernas de dunas son asignadas al estadio aluvial V (Witte, 1916). Sobre la base de dataciones de material infrayacente (conchillas) de 5370 años AP se estableció una cota de 7 m snm para el máximo transgresivo (Trebino, 1987). Sobre este nivel se ubicaron dunas que fueron fijadas de acuerdo al alcance de las plantas a los niveles freáticos. El reconocimiento de líneas de reactivación de dunas parabólicas resulta similar a las estudiadas en la barrera de Río Grande do Sul en que se han podido establecer edades de estas reactivaciones (Martinho *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

1. Los depósitos litorales de Patagones están dominados por gravas arenosas, que además componen cordones de playas fósiles de San Blas. Los depósitos medanosos son más recientes, conforman una barrera litoral y están montados encima de estas crestas de playas. Más al norte, islas de barrera son vestigios de la deriva litoral hacia el norte y del antiguo delta del río Colorado.
2. Las dunas barjanoides entre punta Redonda y punta Rasa migraron al NE a razón de 5-9 m a⁻¹ entre 1973 y 2005.
3. En ese período la fijación de las dunas fue de aproximadamente 28-32%. Matorrales y pastizales psamófilos contribuyen al anclaje de médanos formando dunas parabólicas de brazos cortos.
4. La deriva litoral fue disminuyendo de S a N. Los canales de marea que drenan las bahías San Blas y Anegada fueron obstruyendo ese transporte litoral hacia el N.

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a las autoridades de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales que proveyeron imágenes satelitales que mejoraron algunas interpretaciones. A su vez, a los revisores del manuscrito, Dra. Diana Cuadrado y otro árbitro anónimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ambrosini, G. L., 1984. Geomorfología de la Isla del Jabalí, Departamento de Patagones, provincia de Buenos Aires. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas III:497-512. S. C de Bariloche.
- Andreis, R., 1966. Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro. *Revista Museo de La Plata*, nueva serie 36:230-245.
- Arens, S.M., 1996. Rates of aeolian transport on a beach in a temperate humid climate. *Geomorphology* 17:3-18.
- Auer, V., 1951. Evolución postglacial del valle inferior del río Negro y variaciones cuaternarias de la línea costanera. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 4:425-464.
- Auer, V., 1959. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part. III: Shoreline displacements. *Annales Académie Scientiarium Fennicae*, series A, Helsinki, 247 pp.
- Bagnold, R.A., 1954. *The Physics of blown sand and desert dunes*. 2nd. Edition, London Methuen, 265 pp.
- Bértola, G.R., L.C. Cortizo y F.I. Isla, 2009. Dinámica litoral de la costa de Tres Arroyos y San Cayetano. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64(4): 657-671.
- Cabrera, A., 1941. *Las comunidades vegetales de las dunas costaneras de la Provincia de Buenos Aires*. Dirección de Botánica, Dirección de Agricultura de la Pcia. de Buenos Aires, 7-46.
- Cappannini, D.A. y R.R. Lorez, 1966. *Los suelos del valle inferior del Río Colorado (Provincia de Buenos Aires)*. INTA, Colección Suelos 1, 113 pp.
- Codignotto, J.O. y S.C. Marcomini, 1993. Argentine deltas morphology. *Costal Zone '93. Proc. 8th Symposium on Coastal and Ocean Management* 3:323-336.
- Cortizo, L.C. y F.I. Isla, 2007. Evolución y dinámica de la Barrera Medanosa entre los arroyos Zabala y Claromecó, partidos de San Cayetano y Tres Arroyos, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62:3-12.
- Cuadrado, G.D. y E.A. Gómez, 2010. Geomorfología y dinámica del canal de San Blas, Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 17:3-16.
- Da Silva, G.M. y P. Hesp, 2010. Coastline orientation, aeolian sediment transport and foredune and dune field dynamics of Moçambique Beach, Southern Brazil. *Geomorphology* 120:258-278.
- Davis, R.A. y M.O. Hayes, 1984. What is a wave-dominated coast? *Marine Geology* 60:313-329.
- del Río, J.L., U.R. Colado y E.S. Gaido, 1991. Estabilidad y dinámica del delta de reflujos de la boca del Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46:325-332.
- Durán, O. y H.J. Herrmann, 2006. Vegetation against dune mobility. *Physical Review Letters* 97:188001.
- Eastman, J.R., 1990. IDRISI. A grid-based geographic analysis system. Clark University, Worcester, Mass., 363 pp.
- Eitner, V., 1996. Geomorphological response of the East Frisian barrier islands to sea-level rise: an investigation of past and future evolution. *Geomorphology* 15:57-65.
- Elko, N.A. y R.A. Davis, 2006. Morphologic evolution of similar barrier islands with different coastal management. *Journal of Coastal Research*, SI 39:127-131.
- Espinosa, M.A. y F.I. Isla, 2011. Diatom and sedimentary record during the Mid-Holocene evolution of the San Blas estuarine complex, Northern Patagonia, Argentina. *Ameghiniana* 48:411-423.
- FitzGerald, D.M. y S. Penland, 1986. Backbarrier dynamics of the East Friesian Islands. *Journal of Sedimentary Petrology* 57:746-754.
- FitzGerald, D.M., S. Penland y D. Nummedal, 1984. Changes in tidal inlet geometry due to backbarrier filling: East Friesian Islands, West Germany. *Shore and Beach* 52:3-8.
- Flores, G., 1983. Las formaciones dunares eólicas del litoral asturiano. *Astura* 1:9-19.
- Folguera, A. y M. Zárate, 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64:692-712.
- Fryberger, S.G., 1979. Dune forms and wind regime. En Mc Kee, G. (Ed.), *A study of Global Sand Seas*. Profesional Paper 1052, U.S. Geological Survey, Washington DC: 137-169.
- Frenguelli, J., 1950. *Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires*. M.O.P. Provincia de Bs. As., La Plata. Lemit Serie II, 3.
- Glaeser, J.D., 1978. Global distribution of barrier islands in terms of tectonic setting. *Journal of Geology* 86:283-297.
- Hack, J., 1941. Dunes of the western Navajo County. *Geographical Review* 31:240-264.
- Hesse, P., 2011. Sticky dunes in a wet desert: formation, stabilisation and modifications of the Australian Desert

- dunefields. *Geomorphology* 134:309-325.
- Hesp, P.A.** y **A.D. Short**, 1999. Barrier morphodynamics. En Short, A. D. (Ed.), *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. J. Wiley, 14:307-333.
- Hugenholtz, C.H.**, **N. Levin**, **T.E. Barchyn** y **M.C. Baddock**, 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: a review and outlook. *Earth-Science Reviews* 111:319-334.
- Isla, F.I.**, **G.R. Bértola** y **E.J. Schnack**, 2001. Morfodinámica de playas meso y macromareales de Buenos Aires, Río Negro y Chubut. *AAS Revista* 8:51-60.
- Isla, F.I.** y **G.R. Bértola**, 2003. Morfodinámica de playas meso-micromareales entre Bahía Blanca y Río Negro. *AAS Revista* 10:65-74.
- Isla, F.I.** y **M.A. Espinosa**, 2005. Holocene and historical evolution of an estuarine complex: the gravel spit of the Walker Creek, Southern Buenos Aires. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas V:149-154. La Plata.
- Isla, F.I.**, **L.C. Cortizo** y **E.J. Schnack**, 1996. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires. *Quaternary Science Reviews* 15:833-841.
- Jennings, S.N.**, 1967. Cliff-top dunes. *Australian Geographical Studies* 5:40-49.
- Köppen, W.**, 1931. *Grundriss der Klimakunde De Gruiter*. Berlin, 388 pp.
- Kostadinoff, J.** y **E. Font**, 1984. La cuenca del Colorado en el litoral sur de la Provincia de Buenos Aires. *IX Congreso Geológico Argentino*, Actas III:7-26.
- Landsberg, S.**, 1956. The orientation of dunes in Britain and Denmark in relation to wind. *Geographical Journal* 122:176-190.
- Lanfredi, N.W.**, 1986. Programa de observaciones costeras. Cálculo de deriva litoral. En Colado et al. (Eds.), *Estudio sedimentológico y dinámico de la zona de desembocadura del Río Negro*. Ministerio de Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro. Informe inédito, anexo, 7 pp.
- Levin, N.**, **E. Ben-Dor** y **A. Karnieli**, 2004. Topographic information of sand dunes as extracted from shading effects using Landsat images. *Remote Sensing of the Environment* 90:190-209.
- Marchionni, D.**, **G. Martínez**, **M. Del Blanco** y **F. Cavayas**, 2009. Saltpan surface variations analysis with Radarsat-2 data. *Proc. 4th. Intnal. Workshop on Science and applications of SAR polarimetry and polarimetric interferometry*. Frasatti, Italy, 7 pp.
- Martinho, C.T.**, **S.R. Dillenburg**, y **P.A. Hesp**, 2008. Mid to Late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology* 256:49-64.
- Mc Bride, R.A.**, **M.W. Hiland**, **S. Penland**, **S.J. Williams**, **M.R. Byrnes**, **K.A. Westphal**, **B.E. Jaffe** y **A.H. Sallenger**, 1991. Mapping barrier islands changes in Louisiana: Techniques, accuracy and results. *Costal Sediments '91*. Proceedings, ASCE:1011-1026. Seattle.
- Mc Kee, E.D.**, 1979. *A study of global sand seas*. U S Geological Survey, Professional Paper 1052:1-19.
- McLachlan, A.**, **W.K. Illenberger**, **J.R. Burkinshaw** y **M.E.R. Burnst**, 1994. Management implications of tampering with littoral sand sources. *Journal of Coastal Research*, SI 12:51-59.
- Melo, W.D.**, **R. Schillizzi**, **G.M.E. Perillo** y **M.C. Piccolo**, 2003. Influencia del área continental pampeana en la evolución morfológica del estuario de Bahía Blanca. *AAS Revista* 10:39-52.
- Milne, F. F.**, **P. Dong** y **M. Davidson**, 2012. Natural variability and anthropogenic effects on the morphodynamics of a beach-dune system at Montrose Bay, Scotland. *Journal of Coastal Research* 28:375-388.
- Morton, R.A.**, 1979. Temporal and spatial variations in shoreline changes and their implications, examples from the Texas Gulf coast. *Journal Sedimentary Petrology* 49:1101-1112.
- Muckersie, C.** y **M.J. Shepherd**, 1995. Dune phases as time-transgressive phenomena Manawatu, New Zeland. *Quaternary International* 26:61-67.
- Oke, T.R.**, 1978. *Boundary layer climates*. Methuen & Co., NY, 435 pp.
- Paskoff, R.** y **H. Manríquez**, 2004. *Las dunas de las costas de Chile*. Instituto Geográfico Militar de Chile, Santiago, Chile, 112 pp.
- Penland, S.** y **R. Boyd**, 1981. Shoreline changes on the Louisiana Barrier coast. *Oceans* 81:209-219.
- Penland, S.**, **J.R. Suter** y **R. Boyd**, 1985. Barrier islands arcs abandoned Mississippi river delta. *Marine Geology* 63:197-233.
- Pezzola, A.**, **Winschel, C.** y **Sánchez, R.**, 2004. Estudio multitemporal de la degradación del monte nativo en el Partido de Patagones, Buenos Aires. *Boletín Técnico* 12 INTA, 11 pp.
- Pilkey, O.H.**, **A.G. Cooper** y **D.A. Lewis**, 2009. Global distribution and Geomorphology of fetch-limited barrier islands. *Journal of Coastal Research* 25:819-837.
- Pye, K.** y **H. Tsoar**, 1990. *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman LTD, London 396 pp.
- Rutter, N.**, **E.J. Schnack**, **J.L. Fasano**, **F.I. Isla**, **L. del Rio** y **U. Radtke**, 1989. Correlation and dating of Quaternary littoral zones along the Patagonian coast, Argentina. *Quaternary Science Reviews* 8:213-234.
- Schäbitz, F.**, 1994. Holocene climatic variations in Northern Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109:287-294.
- Sevicio Meteorológico Nacional**, 1992. *Estadística climatológica 1951-1990*. Buenos Aires, Min Aeronáutica.
- Short, A.D.**, 1988. Holocene coastal dune formation in Southern Australia: a case study. *Sedimentary Geology* 55:121-142.
- Sonu, C.J.**, **S.P. Murray**, **S.A. Hsu**, **J.N. Suhayda** y **E. Waddell**, 1973. Sea breeze and coastal processes. *Transactions American Geophysical Union* 54:820-833.
- Spalletti, L.A.** y **F.I. Isla**, 2003. Características y evolución del delta del Río Colorado (Colú-Leuvú) provincia de Buenos Aires, república Argentina. *AAS Revista* 10:23-37.
- Stapor, F.**, 1973. History and sand budgets of the barrier island system in the Panama City, Florida Region. *Marine Geology* 14:277-286.
- Stutz, M.** y **O. Pilkey**, 2011. Open-ocean barrier islands: Global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. *Journal of Coastal Research* 27:207-222.
- Teruggi, M.E.**, 1964. Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Bahía Blanca y Río Negro. *LEMIT, serie II*, 81, 38pp. La Plata.
- Tomazelli, L.J.**, 1993. O Regime de ventos e a taxa de Migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* 20:18-26
- Trebino, L.G.**, 1987. Geomorfología y evolución de la costa en los alrededores del pueblo de San Blas, Pcia. de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42:9-22.
- Tsoar, H.**, **N. Levin**, **N. Porat**, **L.P. Maia**, **H.J. Herrmann**, **S.H. Tatumi** y **V. Claudino-Sales**, 2009. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in

- Ceará State (NE Brazil). *Quaternary Research* 71:217-226.
- Warren, A. y S. Kay**, 1987. Dune network. In Frostick, L. e I. Reid (Eds.), *Deserts sediments: ancient and modern*. Oxford, Blackwell:205-212.
- Weiler, N.E.**, 1993. Niveles marinos del Pleistoceno tardío y Holoceno en Bahía Anegada, Provincia de Buenos Aires: geocronología y correlaciones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48:207-216.
- Weiler, N.E.**, 2000. *Evolución de los depósitos litorales en Bahía Anegada, Provincia de Buenos Aires, durante el Cuaternario*. Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 184 pp.
- Witte, L.**, 1916. Estudios Geológicos de la Región de San Blas. *Revista Museo de la Plata* XXIV, Serie 2, La Plata.
- Woodroffe, C.D.**, 2002. *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press, 623 pp.