

# USO DE LA MORFOLOGIA COSTERA COMO GEOINDICADOR DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION EN COSTAS COHESIVAS, NECOCHEA, BUENOS AIRES

Silvia Cristina Marcomini<sup>1</sup>, Rubén Alvaro López<sup>1</sup> y Ayelen Spinoglio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, Cp.1428. E-mail: scm@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup>República Árabe de Siria 3254 5° piso depto 22-

## RESUMEN

Se estudian los rasgos morfológicos de la costa sur de la provincia de Buenos Aires entre el Balneario Los Angeles y la localidad de Costa Bonita localizadas en el municipio de Necochea, provincia de Buenos Aires. El objetivo del trabajo consistió en identificar geoindicadores de vulnerabilidad a la erosión, mediante la caracterización morfológica e hidrodinámica del área costera, estimando modelos morfo-evolutivos para los acantilados cohesivos que subyacen la barrera de dunas austral. Estos modelos fueron estimados sobre la base de la morfología costera, del monitoreo del perfil transversal de los acantilados, la actividad y morfología de los sistemas de dunas colgadas y del comportamiento de las rampas eólicas. Se observó un aumento de la vulnerabilidad a la erosión siguiendo la siguiente secuencia morfológica: costas con dunas activas, con dunas estabilizadas, acantilados cubiertos por rampas, acantilados con rampas, acantilados con rampas mixtas, acantilados inactivos, acantilados activos.

Las acciones humanas; tales como forestación y urbanización del campo de dunas activo e inactivo, las explotaciones mineras y la construcción de escolleras han impactado en forma negativa subsaturando los flujos tanto eólico como en las corrientes litorales, alterando el perfil costero, con tendencia a la desaparición de las rampas eólicas. El modelo, basado en la secuencia en los estadios morfológicos del perfil costero, podrá ser empleado como un geoindicador de vulnerabilidad a la erosión costera en la planificación y manejo del área en estudio.

Palabras clave: *Morfodinámica costera, alteraciones antropogénicas, acantilados, rampas eólicas, dunas, playa.*

**ABSTRACT:** *Use of the coastal morphology as a geoindicator of erosional susceptibility in cohesive coasts, Necochea, Buenos Aires.* The purpose of the paper is to analyze the geomorphology and hydrodynamic of the coastal area, to model the evolution of the coastal cohesive cliffs and the hanging dune barrier system along southern Buenos Aires coast. The morphology and evolution of coastal transverse profile are used as geoindicator of erosional susceptibility for planning and manage the coastal communities' development. The vulnerability to erosion increases from dune coasts, to stabilized dunes, cliffs covered with ramps, cliffs with ramps, cliffs with mixed ramps, inactive cliffs and active cliffs. Human intervention such as afforestation, urbanization, mining and interruption of the littoral drift by Quequen harbor groins, have altered the eolian and marine sand supply in the area, modifying the coastal profile configuration, trending to the disappearance of sand ramps.

Keywords: *Coastal morphodynamic, anthropogenic alterations, cliffs, aeolian ramps, dunes, shores.*

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende las localidades de Las Grutas, Necochea, Quequén y Costa Bonita (Fig. 1), ubicadas en el municipio de Necochea, en la franja costera que se extiende entre el Balneario Los Ángeles y la localidad de Costa Bonita, al sur de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo del trabajo consiste en caracterizar la morfología y evolución costera, con el fin de modelar el comportamiento de los acantilados cohesivos y de la barrera de dunas, que conforman la costa sur de la provincia de Buenos Aires. El modelo se des-

arrolla sobre la base de la morfología, evolución y tipo costa natural, pero asimismo incorpora el accionar humano como factor de alteración indirecto, en especial como un nuevo agente de subsaturación de la hidrodinámica litoral. Otro punto a abordar en el desarrollo del trabajo consiste en la evaluación de las distintas configuraciones costeras y su evolución para su aplicación como geoindicadores.

Los geoindicadores son medidas de magnitud, frecuencia, rangos y tendencias de los procesos naturales que tuvieron lugar en los últimos 100 años en la superficie terrestre (Berger 1996, Berger e Iams 1996). Permi-

ten la evaluación de los eventos catastróficos como graduales, siempre y cuando estos se mantengan dentro del marco del periodo de vida humana, describiendo procesos naturales capaces de cambiar por sí solos, sin necesidad de intervenciones antrópicas directas, aunque existan varias formas de acciones humanas que pueden acelerar, retardar o desviar dichos cambios.

Los geoindicadores se desarrollan basándose en aproximaciones y técnicas estándar de forma tal que puedan ser difundidas en términos sencillos entre profesionales y personas encargadas en la toma de decisiones (Berger y Liverman, 2002).

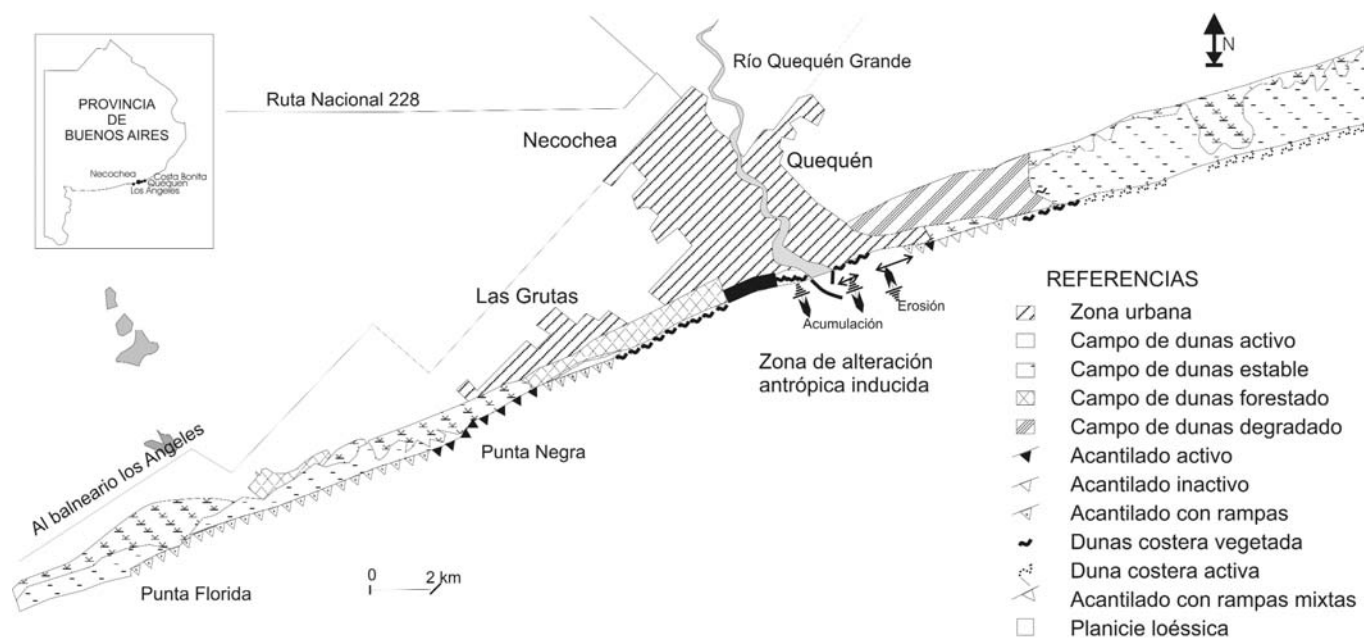


Figura 1: Mapa de ubicación

Cantú *et al.* (2001) abordaron distintas disciplinas, para determinar indicadores relacionados con temas de contaminación de suelos, impactos por explotaciones mineras y depósitos de residuos. Con respecto al litoral costero bonaerense, los únicos antecedentes son los desarrollados por Camino *et al.* (2001) y Rivas *et al.* (2006), quienes estudiaron los aplicaron en las localidades de Mar del Sur y Mar del Plata. En el presente trabajo se evalúa como geoindicador la relación entre el perfil de los acantilados cohesivos, la actividad del campo de dunas transgresivo y la formación de rampas eólicas. Las rampas eólicas en sistemas costeros juegan un rol importante en el proceso dinámico asociado a la interacción entre la playa y el sistema de dunas costero. Existen diversos modelos que han evaluado la movilidad del transporte de arena entre la duna y la playa, entre ellos se destacan los modelos de Short y Hesp (1982), Pye (1983) Psuty (1986, 1988, 1992), Carter (1988) y Short (1988).

Además de los factores naturales, la acción del hombre también ejerce una importante influencia como factor regulador de las tasas de aporte de sedimentos locales y en consecuencia condicionan el desarrollo de las rampas eólicas.

Una de las alteraciones importantes son las explotaciones mineras, las cuales han modi-

ficado las condiciones hidrodinámicas de la zona de estudio. El efecto de las explotaciones mineras sobre la hidro y morfodinámica en costas cohesivas ha sido descrito por Marcomini y López (1999), quienes reconocieron una importante erosión inducida sobre localidades ubicadas deriva abajo (Mar del Sur-Miramar), como consecuencia de la explotación de la arenera localizada en Centinela del Mar.

En el balneario Los Ángeles (Fig. 1) se realizó una explotación de arena de playa de gran importancia entre los años 1997 y 1998. Dicha explotación declaró un volumen de extracción de arena de 32.000 m<sup>3</sup> según la Dirección Provincial de Minería, aunque se estimó una explotación de 150.000 m<sup>3</sup>.

Otro factor de alteración en la hidrodinámica fue la construcción de las escolleras del puerto de Quequén que han ocasionado un desbalance en la deriva neta incrementando la erosión en la ciudad de Quequén (Kokot y Otero 1999, Del Río *et al.* 2004).

En el área se han desarrollado estudios anteriores de diversa índole. Fasano *et al.* (1987) reconocieron en Quequén un depósito de 7.000 años correspondiente a una transgresión marina. Isla y Bujalesky (1995) e Isla *et al.* (2001) han estudiado la evolución de la barrera austral. Ellos reconocieron tres ciclos de generación de los méda-

nos costeros: el primero hace aproximadamente 6.000 a 4.000 años AP, el segundo entre los 3500 y 2400 años AP y el tercero entre los 1600 y los 500 años AP. Del mismo modo Isla *et al.* (1997), López y Marcomini (2000) y Marcomini y López (2004), Bertola y Cortizo (2005), desarrollaron modelos morfodinámicos para la costa ubicada al noreste del área del presente estudio entre Costa Bonita y Miramar.

## HIDRODINÁMICA Y CLIMA

El clima de la región es templado. Las precipitaciones medias anuales son de 947 mm. Los registros máximos mensuales se registran en enero y marzo y los mínimos en septiembre. Existen aproximadamente 32 días anuales de tormenta y 115 de lluvia. La temperatura media oscila en los 14°C con mínimas absolutas de -3,9 °C y máximas de 39,9°C. Los vientos más frecuentes son los del norte con una velocidad media de 5 nudos, le siguen los del sur y este con velocidades de 20 y 17 km/h respectivamente. Los vientos del sudoeste son los de mayor velocidad con una velocidad media de 24 km/h (Servicio de Hidrografía Naval 2000). Las alturas de ola para el puerto de Quequén son de 1,33 m y los períodos varían entre 7 y 10 segundos. La media anual del poder del olaje es de 7,5 kW/m y el prome-

dio máximo anual alcanza los 61,3 kW/m para el puerto de Quequén. (Lanfredi *et al.* 1992). El régimen de marea es semidiurno con desigualdades diurnas y las playas son micromareales alcanzando una amplitud de marea de 2 m en Necochea. Las playas son disipativas. La pendiente media es de 2°40' y el ancho de playa varía por lo general entre los 50 m en costas acantiladas a 200 m en costas de dunas (Necochea, cercanía a la escollera). Las playas están constituidas por arena mediana a fina.

## GEOMORFOLOGÍA

El paisaje es poligenético y en su formación han intervenido los procesos fluvial, marino y eólico. El proceso fluvial se evidencia fundamentalmente por la presencia de ríos principales que corren perpendiculares a la línea de costa. El río principal es el río Quequén Grande que posee un régimen permanente y un hábito meandriforme. La planicie de acreción loésica, que integra el sector continental, se encuentra surcada por numerosos paleocauces, actualmente ocupados por sistemas de lagunas interconectados.

En el área costera se pudieron identificar geoformas de origen eólico y marino.

El proceso eólico se evidencia mediante la presencia de campos de duna activos, inactivos y forestados. Los campos de dunas activos cubren los acantilados en varios sectores. Están conformados por crestas transversales y barchanes cuyas crestas poseen una alineación NNE. La cara de impacto se ubica hacia el NO. Estos campos se localizan al norte de Costa Bonita, por una extensión de 1,5 km desde el pie de duna. En este sector se observa un marcado desarrollo de las crestas barjanoides que alcanzan una longitud de onda de 300 a 400 m; las crestas se orientan perpendiculares a la línea de costa, evidenciando un desplazamiento hacia el este. Los espacios interdunales están desprovistos de vegetación. Los campos forestados son los asociados al Parque Miguel Lillo, al suroeste de la ciudad de Necochea. En líneas generales se ha conservado la morfología original de las dunas. El campo inactivo se caracteriza por la presencia de dunas parabólicas y procesos de reactivación deflacionaria que dan lugar a la

generación de dunas en voladura circular y elongadas (*saucer and through blow outs*).

En cuanto a la morfología marina se ha detectado un predominio de geoformas de erosión con el desarrollo de acantilados y plataformas de abrasión.

Se han podido diferenciar acantilados con distintas morfologías a lo largo del sector en estudio, clasificándolos de la siguiente manera: acantilados activos, inactivos, inactivos con rampas eólicas o con rampas mixtas.

Los acantilados activos muestran un importante retroceso de la línea de costa y están siempre asociados a una plataforma de abrasión de gran desarrollo. Se los ha localizado al norte de la localidad de Las Grutas, a lo largo de una franja costera de 4 km (Fig. 2a) y al sur en el sector de bahía de los Vientos. Poseen alturas medias de 6 a 7 m. Están labrados sobre sedimentos del Pampeano, donde se distinguen capas de distinta dureza dadas por niveles de calcretes lo que les confiere un perfil irregular. Son muy comunes los fenómenos de remoción en masa como deslizamientos planares y caídas de roca (Fig. 2a). Por lo general, en la base se forman cavernas, debido a erosión diferencial producida por el oleaje entre los distintos niveles de tosca del Pampeano.

Las plataformas de abrasión se encuentran prácticamente desprovistas de sedimentos arenosos, con lo cual es muy importante el efecto martillo, es decir el golpeteo, por acción del oleaje, de los fragmentos de roca irregulares sobre la plataforma de abrasión. La exposición al oleaje es alta ya que la base de los mismos es lavada durante las pleamares. El perfil de estos acantilados posee pendientes muy abruptas variables de 53 a 80°. Los acantilados inactivos son aquellos acantilados cuya base se alcanza por lo general en pleamares de sicigias o en tormentas. Presentan al pie una playa poco desarrollada.

Muchas veces los acantilados se hayan sepultados parcialmente por rampas eólicas (Fig. 2b).

Estas rampas se generan en acantilados cubiertos por campos de dunas activos y con buen desarrollo de la playa al frente de los mismos. Las rampas están constituidas por arena fina bien seleccionada. La playa tiene berma y/o barras de lavado, de manera tal

que la base del acantilado no es alcanzada frecuentemente por el oleaje. Estas rampas poseen una pendiente de 20° y alcanzan alturas de 3 a 4 m (Fig. 2b). Algunas veces llegan al tope de acantilados de 6 m. Esta configuración costera se ha reconocido al oeste de Punta Negra, al norte de Las Grutas y al norte de Quequén.

Los acantilados con rampas mixtas se han reconocido al sur de Las Grutas (Fig. 2c).

Esta configuración del acantilado se halla relacionada con una génesis mixta, ya que en su generación también tiene gran importancia la remoción en masa. Este tipo de configuración se genera cuando el acantilado tiene un desarrollo de playa considerable en el frente y en general está asociado en la parte superior con campos de dunas inactivos. En estos casos la base del acantilado solo es alcanzada ante eventos extraordinarios y por consiguiente modelan su configuración la alternancia de eventos donde predomina la remoción en masa o el proceso eólico (Fig. 2c). Cuando el aporte continental es más intenso las rampas se generan por meteorización y caída formando depósitos de talud. Durante precipitaciones intensas las rampas se cubren por depósitos de flujos. Durante períodos con vientos intensos (del cuadrante sur), se genera una importante deriva eólica a lo largo de la playa sepultando o cubriendo los depósitos anteriores. Asimismo la acción del oleaje durante estos eventos escarpa las rampas.

Es importante enfatizar la diferencia de direcciones de proveniencia de los materiales. Las rampas eólicas se generan desde la base del acantilado y van creciendo hacia arriba. Los depósitos de talud se forman con aporte del sector apical del acantilado, y por lo tanto provienen del sector continental. Durante las tormentas (surge storms) estas rampas se cortan (3 en Fig. 2c) e inician un nuevo ciclo de generación. Las precipitaciones también actúan erosionando estas rampas, mediante la generación de cárcavas y rills (4 en Fig. 2c) en la superficie debido a la baja permeabilidad de los depósitos limo-arenosos. Las mismas se componen de sedimentos muy poco seleccionados que van de limo a rodados de tosca. A veces se observan intercalaciones de niveles arenosos bien seleccionados (rampas eólicas).

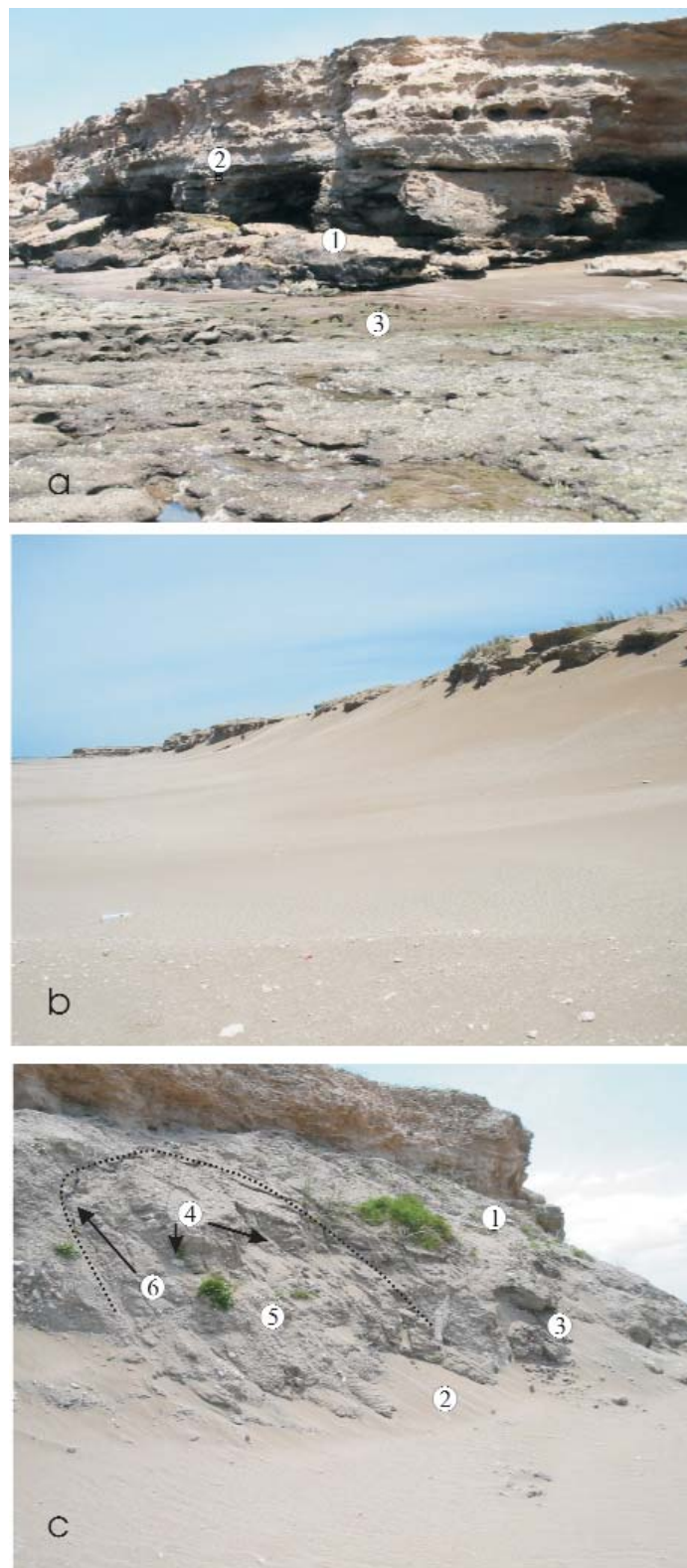
## ALTERACIONES HUMANAS EN LA HIDRO-AERODINAMICA

La aerodinámica del campo de dunas ha sido alterada por los siguientes factores:

- 1) Urbanización de las ciudades de Necochea - Quequén.
- 2) Forestación del campo de dunas activo que conformaban el parque Miguel Lillo.
- 3) Construcción del puerto.

La urbanización y forestación a lo largo de 12 km de costa ha actuado como una barrera eólica alterando las tasas de ingreso de arena al sector ubicado entre Quequén y bahía de los Vientos. Este efecto puede observarse en la comparación de las fotos aéreas entre los años 1947 y 1984. En la figura 3a, correspondiente al año 1947, se distingue el vivero en su etapa inicial con escasas especies arbóreas. Asimismo, puede observarse, en el margen SO de río Quequén, el desarrollo de una planicie de progradación costera constituida por crestas eólicas (*eolian beach ridges*) formadas por el efecto de espigón hidráulico que ejercía el río bajo sus condiciones naturales. Los sedimentos que migran por deriva litoral de sur a norte, son depositados en la desembocadura y el viento conforma crestas eólicas que producen una importante progradación de la desembocadura. En la misma figura pueden observarse los campos de dunas activos que caracterizaban el área costera.

En la fotografía del año 1984 se observa la degradación de las geofomas originales del campo de dunas ubicado entre Quequén y bahía de los Vientos. La presencia en la actualidad de un campo degradado integrado por crestas barjanoides separadas por interdunas completamente vegetados y el incremento del área interdunal, son evidencias morfológicas de la falta de saturación en la deriva eólica, tal como se observó en otras localidades costeras ubicadas al norte (Marcomini 2002). A este factor se le suma la descompensación en el balance sedimentario en la deriva litoral provocado por las escolleras del puerto (Kokot y Otero 1999, Del Río *et al.* 2004) trayendo aparejado la erosión de las playas de Quequén y por consiguiente, la disminución en el aporte de sedimentos a la playa. El desbalance hidrodinámico, entonces, no sólo afectó la



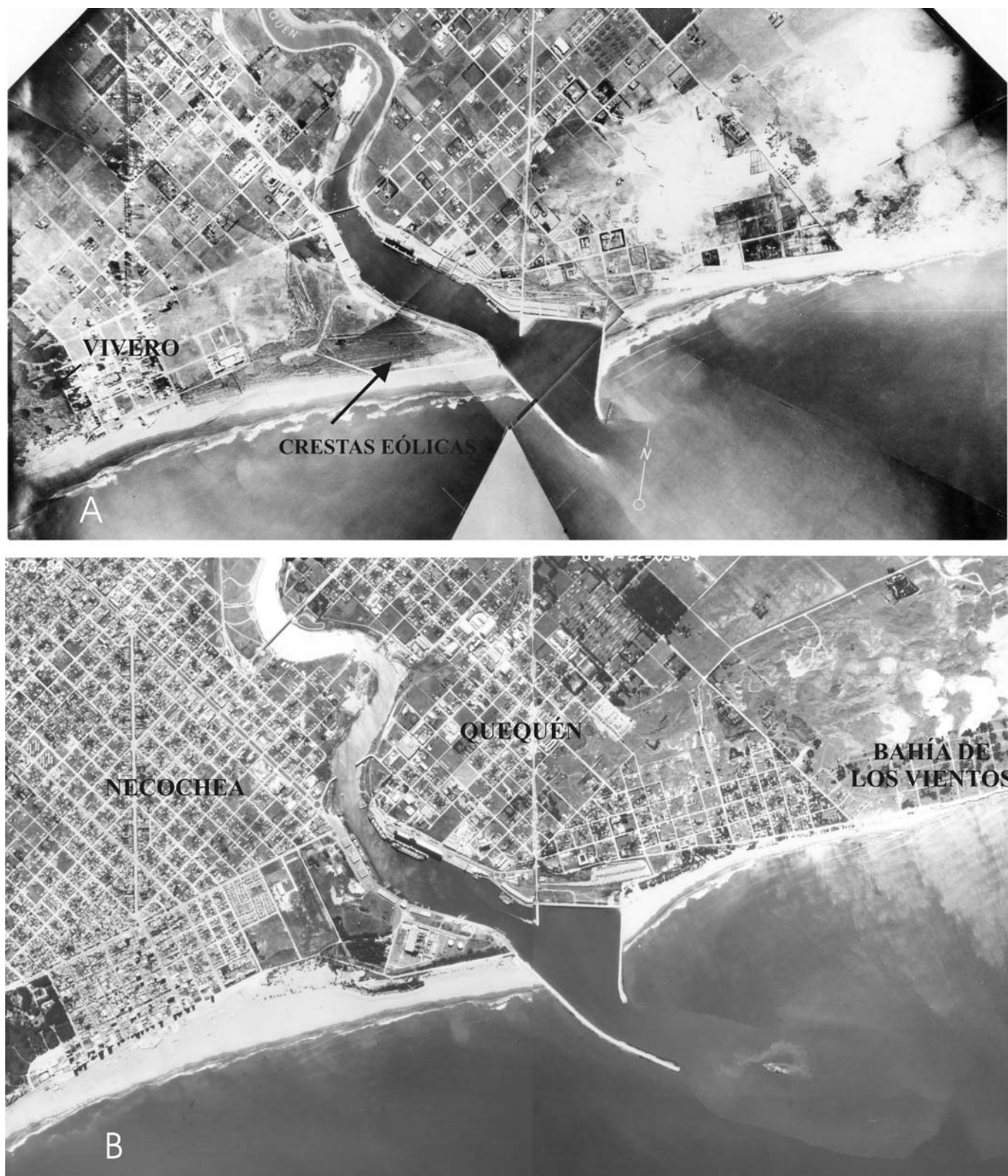
**Figura 2:** a) Acantilado activo. (1) Nótese la intensa acción de la remoción en masa como caída de rocas y deslizamientos. Al pie del acantilado se distingue la formación de cavernas (2) Se observa asimismo la falta de saturación de las corrientes litorales por la escasa cobertura de arena en las plataformas (3). b) Rampas eólicas. Se puede observar el importante desarrollo de las playas y el campo de dunas activo apoyando en discordancia sobre los sedimentos del Pampeano. c) Acantilado con rampas mixtas: (1) talud, (2) rampa eólica, (3) escarpa de erosión marina, (4) cárcavas, (5) flujo y (6) muesca de deslizamiento.

playa, sino que también a la estabilidad de la duna costera y a la configuración del acantilado.

La forestación del Parque Miguel Lillo, si

bien no alteró las playas aledañas, indujo una onda aerodinámica erosiva hacia el noreste.

El diseño urbano de la ciudad de Necochea,



**Figura 3:** Comparación de la evolución del puerto de Quequén. Se puede observar la estabilización de los campos de dunas, la formación de nuevas crestas eólicas al sur de la escollera norte, la progradación de la playa y el incremento de la muesca erosiva en bahía de los Vientos. a) Reproducción parcial de la fotografía aérea del año 1947 de la Agrupación Aeronaval Fotográfica y b) Toma parcial de la fotografía aérea del año 1984 de GEODESIA de La Plata



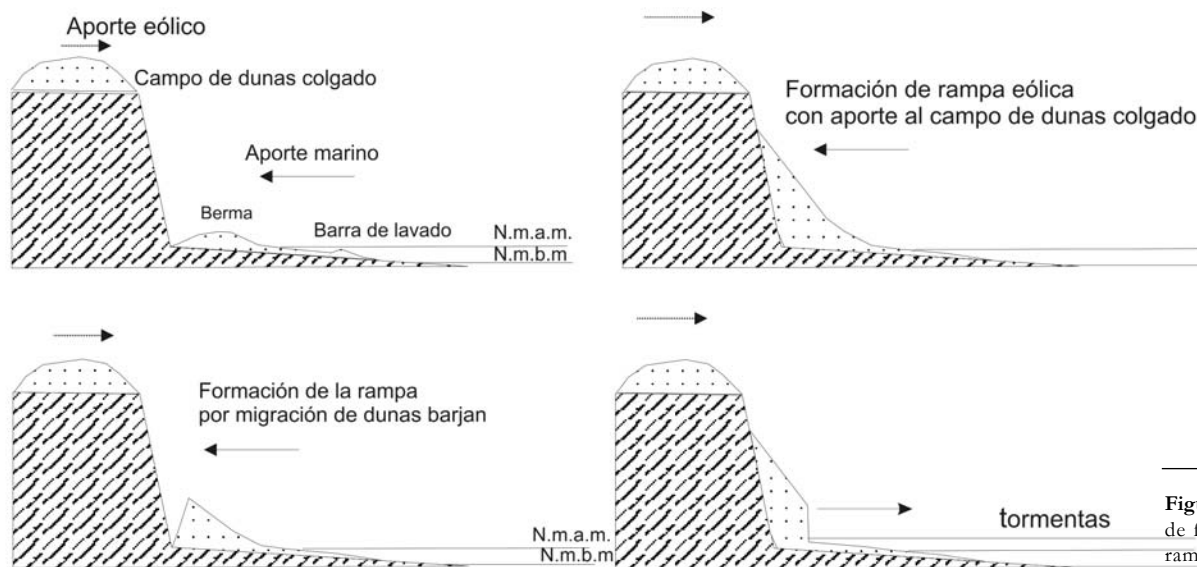


Figura 4: Modelo de formación de rampas eólicas.

alteró y degradó la duna costera para la construcción de la rambla, no obstante ello, en la actualidad no se han detectado efectos erosivos, como consecuencia de la intensa acumulación producida por la retención de arena en la escollera sur. Es evidente la progradación costera en la zona próxima al espigón por la formación de nuevos cordones de dunas, esta vez como consecuencia de la retención de sedimentos por la escollera. Del lado noreste, la subsaturación litoral producida por las escolleras ha intensificado la onda erosiva, con una concentración muy importante en bahía de los Vientos.

### MODELO MORFODINAMICO

Los principales factores que inciden en la formación de rampas eólicas a escala días-meses son el aporte de sedimentos, la frecuencia y magnitud de las grandes tormentas y la velocidad y dirección de los vientos predominantes (Christiansen y David-Arnott 2004).

El aporte local es condicionado en primer lugar por las corrientes litorales, pero también es importante la dinámica de los bancos interiores y el ingreso de barras de lavado al sistema litoral (Aagaard *et al.* 2004). El ancho de playa también influye en el desarrollo de las rampas eólicas de dos maneras: amortiguando la acción del oleaje durante las tormentas y aumentando el alcance (*fetch*) del transporte eólico. De esta manera una playa ancha reducirá la frecuencia

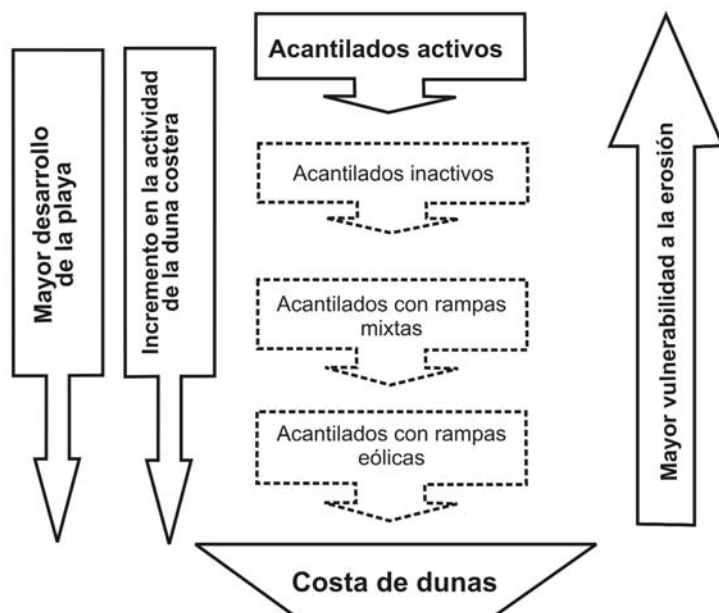


Figura 5: Formación de rampas por migración de dunas barján sobre el acantilado.

a la erosión y favorecerá el desarrollo de las rampas. Asimismo se ha observado en el área de estudio que las morfologías estables del perfil de playa (bermas estables, tormenta o mareales) favorecen la formación de rampas, ya que aumentan el volumen de arena en la playa seca y como consecuencia se incrementa la tasa de transporte eólico en la playa posterior. Muchas veces los depósitos de berma son retransportados por la acción del viento y pasan a integrar las rampas. Por tal motivo es común en la zona encontrar playas muy extensas sin desarrollo de bermas.

La frecuencia y magnitud de las tormentas influyen de dos maneras: en una mayor frecuencia del escarpamiento y en la limitación del tiempo disponible para la formación de las rampas.

Otro factor a tener en cuenta es la frecuencia y dirección de los vientos predominantes. Los vientos hacia la costa aportan sedimentos de la playa hacia las rampas, pero debido a la humedad y a bajo gradiente de playa el alcance eólico es limitado. Los vientos que más aportan sedimentos son los vientos oblicuos que en la zona corresponderían a vientos del E y SE y S-SO.



**Figura 6:** Modelo de susceptibilidad a la erosión considerando las variaciones morfológicas del perfil transversal de la costa.

Otro factor importante en el desarrollo de las rampas es la actividad eólica del sector costero. Las rampas en general trepan sobre el acantilado y alimentan los campos de dunas colgados y por consiguiente la actividad de estos campos de dunas va a depender directamente del desarrollo de las rampas eólicas. De esta manera el desarrollo de los campos de dunas colgados va a estar por lo general asociada a una mayor frecuencia en la formación de rampas de arena.

En la figura 4 se observa la evolución de una playa con rampas. La formación de las rampas está asociada por lo general a un buen desarrollo de la playa, y en especial de la playa posterior o al desarrollo de campos de dunas activos colgados. Las playas en la zona se apoyan sobre una extensa plataforma de abrasión y desarrollan bermas mareales. Luego de fuertes tormentas de viento, en especial del cuadrante sur, los sedimentos de playa son retransportados formando dunas que migran hacia el acantilado y que luego se adosan a la base del mismo (Fig. 5). Las rampas aumentan progresivamente el nivel de la playa posterior, de manera tal que las crestas de estas dunas alcanzan las cercanías del tope del acantilado, alimentando los campos de dunas colgados. Los vientos del cuadrante sur son los más intensos, pero no los más frecuentes. Los vientos más frecuentes en la zona son los del norte, en

estos casos la alimentación se da en sentido inverso, es decir de los campos de dunas colgados hacia la playa. De manera tal que el sistema adquiere un equilibrio dependiendo de las condiciones climáticas.

Durante las tormentas extraordinarias (*surge storms*) las rampas se escarpan y pierden gran cantidad de arena, pero minimizan la erosión de los acantilados. Pasada la tormenta, las rampas vuelven a alcanzar su perfil de equilibrio, luego que pierden la humedad y vuelven a alcanzar el ángulo de reposo de la arena.

Las rampas mixtas se asocian a sectores costeros donde la actividad eólica y la exposición al oleaje son menores, de manera tal que, gran parte del tiempo, el acantilado es afectado por la meteorización y en consecuencia por los fenómenos de remoción en masa y fluvial de origen continental.

En el sector en estudio el desarrollo de las rampas ocurre con más frecuencia en otoño-invierno luego de la época de mayor recurrencia de tormentas que es el verano. De manera tal que se da una alternancia entre periodos con dominio de procesos continentales y otros con formación de rampas (dominio marino-eólico).

En la figura 6 se observa el modelo propuesto, donde dadas las características geomorfológicas reconocidas, se definen distintos estadios para determinar el grado de

vulnerabilidad a la erosión de acuerdo a la configuración y morfología de la costa, gradando de costa con dunas activas, con dunas estabilizadas, acantilados con rampas, acantilados con rampas mixtas, acantilados inactivos, acantilados activos. Se puede distinguir asimismo que el pasaje de un estadio a otro depende fundamentalmente de dos factores que equilibran el sistema que son; la actividad de la duna costera y el desarrollo de la playa. La urbanización en el área ha alterado ambos factores. La actividad de la duna, mediante la forestación y urbanización y el ancho de la playa, por interrupción de la deriva litoral, con la construcción del puerto. La frecuencia y magnitud de las tormentas inciden notablemente en la morfología de las rampas por el escarpamiento de su sector distal.

## DISCUSIÓN

Las costas estudiadas se ajustan al modelo propuesto por Short (1988) y Short y Hesp (1982) para las costas australianas, no obstante se trate de un régimen micromareal. Dichos autores reconocieron tasas de transporte positivas en playas disipativas, moderadas en playas intermedias y bajas en playas reflectivas. Estos rangos son determinantes en el tamaño de las dunas costeras los cuales tendrán mayor desarrollo en playas disipativas y menor en reflectivas. Estas tasas condicionan el desarrollo de la duna costera, siendo mayores en playas disipativas y menores en reflectivas. Las playas disipativas se asocian con mantos transgresivos de gran escala; las intermedias poseen una tendencia hacia la generación de sistemas de dunas parabólicas a dunas en voladura y las reflectivas tendrán un mínimo desarrollo. Short (1988) describió en playas de alta energía de Australia, con acantilados de hasta 150 m, la importancia de las rampas de arena en la generación de las dunas colgadas, que estima habrían sido activas entre los 10.000 y los 6.000 años A P, durante la transgresión holocena.

La interacción entre la duna y la playa en el área estudiada, es controlada por los mismos factores descriptos por Sherman y Bauer (1993), que incluyen la frecuencia de tormentas severas, el aporte local de arena y el alto y ancho de las dunas. A diferencia de

los esquemas propuestos por Christiansen y Davidson Arnott (2004), Psuty (1988), Davidson-Arnott y Law (1996) y Hesp (2002) para las costas del Atlántico norte, la frecuencia temporal y espacial del sobrelavado, no juega un rol importante en nuestras costas. La acción principal la juegan las tormentas extremas, en general representadas por sudestadas o tormentas del sudoeste, con gran altura de ola e incremento del nivel, que producen un escarpamiento de la duna costera.

En la evolución de la barrera austral de la provincia de Buenos Aires, Isla y Bujalesky (1995), reconocieron una primera etapa de abundancia de sedimentos que la atribuyeron al máximo transgresivo. Esta abundancia litoral se evidenció en el emplazamiento de rampas eólicas que favorecieron la construcción de barreras de médanos. Las rampas de dunas treparon sobre viejos acantilados plio-pleistocenos. Ya avanzada la regresión el sedimento comienza a escasear y las rampas de dunas a desactivarse. Finalmente en la barrera austral se exhuman viejos acantilados y plataformas de abrasión.

En el presente trabajo, si bien se coincide con la génesis dada por Isla y Bujalesky (1995), se cree que en la actualidad la acción de las rampas es muy importante en la regulación del equilibrio hidro y aerodinámico de la costa. El aporte de sedimentos a las rampas no solo depende de la hidrodinámica marina, sino que también de la aerodinámica que regula los sistemas de dunas colgados. Estos sistemas de dunas han tendido a acrecentar su estabilización en muchos sectores como consecuencia de un aumento natural de la humedad. Si bien en el pasado evidenciaban, por la morfología de las crestas transversales o barjanoides activas, una dirección de vientos predominantes del suroeste, en la actualidad se han ido degradando por formación de dunas en voladura principalmente circulares. Es decir que el aporte ha ido disminuyendo.

El modelo propuesto por López y Marcomini (2000), de espaldón de playa para las localidades de Miramar y Centinela del Mar se ajusta también a estas localidades, aunque la actividad de las rampas aquí es más intensa. Se han reconocido dunas colgadas escarpadas en bahía de los Vientos, dunas colgadas en Los Angeles, acantilados total-

mente cubiertos por dunas en Necochea y Quequén (cercanos a la escollera), y acantilados parcialmente cubiertos por dunas entre Necochea y Las Grutas.

Las costas cohesivas que caracterizan el sector en estudio poseen una estabilidad muy frágil y a diferencia de lo que ocurre en costas blandas, los procesos erosivos en estos casos son irreversibles. Los cambios en las condiciones aero e hidrodinámicas del sector costero y la disminución en el aporte eólico y marino alteran sustancialmente las condiciones de equilibrio de los ecosistemas, produciendo modificación del perfil costero a corto plazo.

En el modelo propuesto se manifiesta la importancia que ejerce el proceso eólico en la estabilidad de los acantilados y de la playa y por consiguiente el mismo deberá ser tenido en consideración frente a futuros planes de manejo y urbanización.

En el futuro deberá regularse lo forestación del campo de dunas activo e inactivo, ya que constituye una de las principales fuentes de alimentación para la conservación de playas.

## CONCLUSIONES

Los resultados expuestos en el presente trabajo permiten concluir:

Las variaciones morfológicas en la configuración costera, representadas mediante distintos estadios pueden emplearse como geoindicadores de vulnerabilidad a la erosión.

La vulnerabilidad a la erosión aumenta con la transición entre los siguientes estadios: costas con dunas activas, con dunas estabilizadas, acantilados cubiertos por rampas, acantilados con rampas, acantilados con rampas mixtas, acantilados inactivos, acantilados activos.

La formación de las rampas está asociada con un buen desarrollo de la playa, y en especial de la playa posterior y/o con campos de dunas activos colgados. Los factores que modifican su morfología son: la magnitud y recurrencia de las tormentas, vientos de gran intensidad del cuadrante sur-sudeste y sur-sudoeste, y el aporte dado por los campos de dunas colgados o el desarrollo de los distintos subambientes de playa.

Las rampas mixtas se asocian a sectores costeros donde la actividad eólica y la exposición al oleaje son menores, y por consi-

guiente el acantilado es afectado por la meteorización y en consecuencia por los fenómenos de remoción en masa y fluvial de origen continental durante un tiempo considerable.

Las acciones humanas; tales como forestación y urbanización del campo de dunas activo e inactivo, las explotaciones mineras y la construcción de escolleras han impactado en forma negativa subsaturando los flujos tanto eólico como en las corrientes litorales. Esto incide directamente en el aporte de arena y en consecuencia se producirá una variación en el perfil costero, con tendencia a la desaparición de las rampas eólicas.

El uso de algunas morfologías costeras como geoindicadores de susceptibilidad a la erosión será de gran interés para la zonificación, planificación y manejo del área en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Subsidio UBACyT X083 "Alteraciones ambientales y en la hidrodinámica litoral por explotación de arena y determinación de fuentes alternativas", otorgado por la Universidad de Buenos Aires. Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento al Dr. Luis Capposso y al Museo Histórico de Necochea por las numerosas fuentes de información aportadas.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aagaard, T., Davidson-Arnott, R., Greenwood, B. y Nielsen, J. 2004. Sediment supply from shoreface to dunes: linking sediment transport measurements and long term morphological evolution. *Geomorphology* 60: 205-224.
- Berger, A. R. 1996. The geoindicator concept and its application: an introduction. En *Geoindicadores: assessing rapid environmental changes in earth systems*, 1-14. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Berger, A.R. e Iams, W.J. 1996. *Geoindicadores: Assessing rapid environmental changes in earth systems*. 85 p. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Berger, A.R. y Liverman, D.G. 2002. *Geoindicadores for ecosystem monitoring in parks and protected areas*. Parks Canada, Ecosystem



- science review reports 18, 45 p.
- Bertola, G.R. y Cortizo, L.C. 2005. Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(1): 174-184.
- Camino M.A., López de Armentia, A.M., Oyarbide R.F. y del Río, J.L. 2001. Análisis de la variación de la calidad ambiental mediante la utilización de índices cuantitativos en el litoral Atlántico del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina: el caso Mar del Sur. I reunión de geología ambiental y ordenación del territorio del área Mercosur, Simposio Geoindicadores Ambientales, p. 32, Mar del Plata.
- Cantù, M.P., Becker, A.R., Bedano, J.C. y Schiavo, H.F. 2001. Desarrollo de una metodología de indicadores e índices de degradación de suelos, su relación con indicadores e índices de calidad ambiental. I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del área Mercosur, Simpósio Geoindicadores Ambientales, p.33, Mar del Plata.
- Carter, R.W. 1988. Coastal environments: An Introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press 235p., London.
- Christiansen, M. B. y Davidson-Arnott, R. 2004. Rates of Landward Sand Transport over the Fore-dune at Skallingen, Denmark and the Role of Dune ramps. *Danish Journal of Geography* 104(1): 31-43.
- Davidson-Arnott, R.G.D. y Law, M.N. 1990. Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie. En Nordstrom, K.F., Psuty, N. y Carter, B. (eds) *Coastal Dunes. Form and Process*, Wiley 2-177, Chichester.
- Del Río, J.L., López de Armentia, A., Alvarez, J.R., Bó, M.J., Martínez Arca, J. y Camino, M. 2004. Erosión costera por inducción antrópica en Quequén- Costa Bonita, provincia de Buenos Aires, República Argentina. 4° Congreso Uruguayo de Geología y 2° Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, Actas en CD, 7 p.
- Fasano, J.L., Isla, F.I., Mook, W.G. y Van Plassche, O. 1987. Máximo transgresivo postglacial de 7.000 años en Quequén, provincia de Buenos Aires, *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42(3-4): 475-477.
- Hesp, P.A. 2002. Fore-dunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48: 245-268.
- Isla, F.I. y Bujalesky, G. 1995. Tendencias de disponibilidad de arena. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 1(2): 75-89.
- Isla, F.I., Farenga, M.O., Cortizo, L.C., Bértola, G.B. y Serra, S.B. 1997. Dinámica morfosedimentaria de playas de arena y grava de la Barrera Austral: Mar del Sud, Arenas Verdes y Costa Bonita. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 4(1): 15-24, La Plata.
- Isla, F.I., Cortizo, L.C. y Turno Orellano, H.A., 2001. Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología* 2(1): 73-83.
- Kokot, R.R. y Otero, M. 1999. Factores ambientales y de riesgo geológico en el área costera de Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 13: 87-100.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L., Mazio, C.A. y Dragani, W.C. 1992. Wave-power potential along the coast of the province Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17(11): 997-1006.
- López R.A. y Marcomini, S.C. 2000. Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costanero comprendido entre la ciudad de Miramar y el arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55(3): 251-264.
- Marcomini, S.C. 2002. Morfodinámica, sedimentología, geomorfología ambiental y sus alteraciones antropogénicas en costas de dunas del noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, (inédita), 321 p., Buenos Aires.
- Marcomini, S.C., y López, R.A. 1999. Alteración de la dinámica costera por explotación de arena de playa, partido de General Alvarado, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 6(1-2): 1-18.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 2004. Impactos ambientales generados por la explotación de arena de playa en la provincia de Buenos Aires. 4° Congreso Uruguayo de Geología y 2° Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, Actas en CD, 9 p.
- Psuty, N.P. 1986. A dune /beach interaction model and dune management. *Thalassas* 4: 11-15.
- Psuty, N.P. 1988. Dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 3:
- Psuty, N.P. 1992. Spatial Variation in Coastal Fore-dune Development. En Carter, R.W.G., Curtis, T.G.F. and Sheehy-Skeffington, M.J. (eds.) *Coastal Dunes*, Balkema 3-13, The Hague.
- Pye, K. 1983. Coastal dunes. *Progress in Physical Geography* 7: 531-557.
- Rivas, B., Cendrero, A., Hurtado, M., Cabral, M., Gimenez, J., Forte, Del Río, L., Cantú, M. y Becker, A. 2006. Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina. *Geomorphology*, 73, 3-4: 185-206.
- Servicio de Hidrografía Naval 2000. Derrotero Argentino, Parte II: Costa del Atlántico. Desde Cabo San Antonio a Cabo Virgenes y Punta Dúngeness, 45-62.
- Sherman D.J. y Bauer, B.O. 1993. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography* 15: 381-395.
- Short, A.D. 1988. Wave, beach, fore-dune, and mobile dune interactions in southeast Australia. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 3: 5-9.
- Short, A.D. y Hesp, P.A. 1982. Wave, beach and dune interaction in S.E. Australia, *Marine Geology* 48:259-284.

Recibido: 31 de julio, 2006

Aceptado: 13 de junio, 2007