

EVOLUCIÓN Y DINÁMICA DE LA BARRERA MEDANOSA ENTRE LOS ARROYOS ZABALA Y CLAROMECÓ, PARTIDOS DE SAN CAYETANO Y TRES ARROYOS, BUENOS AIRES

Luis C.CORTIZO^{1,2} y Federico I. ISLA^{1,3}

¹ Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. Universidad Nacional de Mar del Plata. C.C. 722-Correo Central,(7600) Mar del Plata. E-mails: lcortiz@mdp.edu.ar; fisla@mdp.edu.ar

² CIC

³ CONICET

RESUMEN

Se analiza un tramo del litoral sudeste de la provincia de Buenos Aires a través del análisis digital de fotografías del satélite Corona del año 1965 e imágenes del sensor Landsat TM (1999-2000). Datos complementarios concernientes a factores climáticos y morfología de playas fueron añadidos para el entendimiento de la dinámica eólica y de las formas medanosas resultantes. El proceso más importante fue la reducción en volumen de las formas medanosas reconocidas como semifijas y fijas al año 1965 (28% en la franja analizada de 70 x 3 km) fundamentalmente por efectos del incremento en la humedad y reducción del aporte sedimentario. Se evidenció una variación en la dirección de los vientos predominantes del norte (1951-1960) al noroeste (1951-1990) que modificó la orientación de las crestas y favoreció la transición de médanos transversos barjanoides a parabólicos. La intensidad del viento del sector SO durante el período analizado fue el responsable de que las geoformas medanosas se mantengan en posición a expensas de una continua degradación. El efecto antrópico se ha centrado en la implantación de especies arbóreas para fijar las dunas así como para el desarrollo turístico (balnearios Claromecó, Orense y San Cayetano) abarcando 50 Km² de una franja de 210 km²; aunque no hay efectos antrópicos que alteren la dinámica litoral. Se corroboró un aumento en las condiciones de humedad del suelo (aumento en las precipitaciones del 20%) lo cual evidenció el rol de la vegetación en el control del campo de dunas.

Palabras clave: *Sensores remotos, médanos litorales, Buenos Aires.*

ABSTRACT: *Evolution and dynamics of the dune bar of San Cayetano and Tres Arroyos counties, Buenos Aires.*

The coastal area of San Cayetano and Tres Arroyos counties was analyzed by mean of modern Landsat TM images (1999- 2000) and Corona satellite photographs of the year 1965. Data concerning climatic factors and beach morphology were added in order to understand aeolian dynamics and morphology of coastal dunes. The most important feature recognized was the reduction in volume of the dunes recognized as semi-fixed and fixed in 1965 mainly due to an increase in environmental moisture and a probable reduction of the sediment supply. A variation in wind direction from the north (1951-1960) towards the northwest (1951-1990) was evidenced, which modified the orientation of crests and propitiated the transition from barjanoids transverse dunes to parabolic dunes. Wind intensity in the SW sector during the analyzed period was the responsible for the maintenance of the dunes at the expense of a continuous degradation.

The detailed analysis of some sectors by means of aerial photographs (year 1984) allowed the discrimination of morphological features in the evolution of parabolic and transverse dunes, which are of importance to discern the location, paleoclimatic events and migration of dunes. The antropic effect has been centered in the planting of arboreal species with the purpose of fixing dunes as well as tourist development (Claromecó, Orense and San Cayetano) The antropic effect do not alter the littoral drift. An increase in soil moisture (20 % increase in rainfall) probed the role of vegetation in controlling dune fields.

Keywords: *Remote sensing, costal dunes, Buenos Aires.*

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del paisaje costero y sus formas asociadas dependen de la dinámica litoral. Olas, corrientes y mareas interactúan en el transporte de sedimentos que se depositan en playas de distinta morfología. Los principales factores que inciden en la morfología de médanos son el clima y la disponibilidad de sedimento. Los mecanismos

por los cuales el sedimento es depositado y trasladado por el viento inciden directamente en la selección del material componente en los ambientes de playa frontal, distal y médano. El control que ejerce el aspecto climático se evidencia en el desarrollo del tipo de vegetación de estas áreas la cual puede ser natural o implantada, herbácea o arbustiva, actuando como un factor importante en la morfología y migración de dunas

(Cortizo e Isla 2000).

El objetivo del siguiente trabajo es analizar las variaciones morfológicas, básicamente la modificación de médanos barjanoides en parabólicos, halladas en una franja costera de los partidos de San Cayetano y Tres Arroyos en el período 1965-2000, así como los factores incidentes en estas morfologías, tales como la dinámica eólica y las precipitaciones, ya que estos médanos absorben el

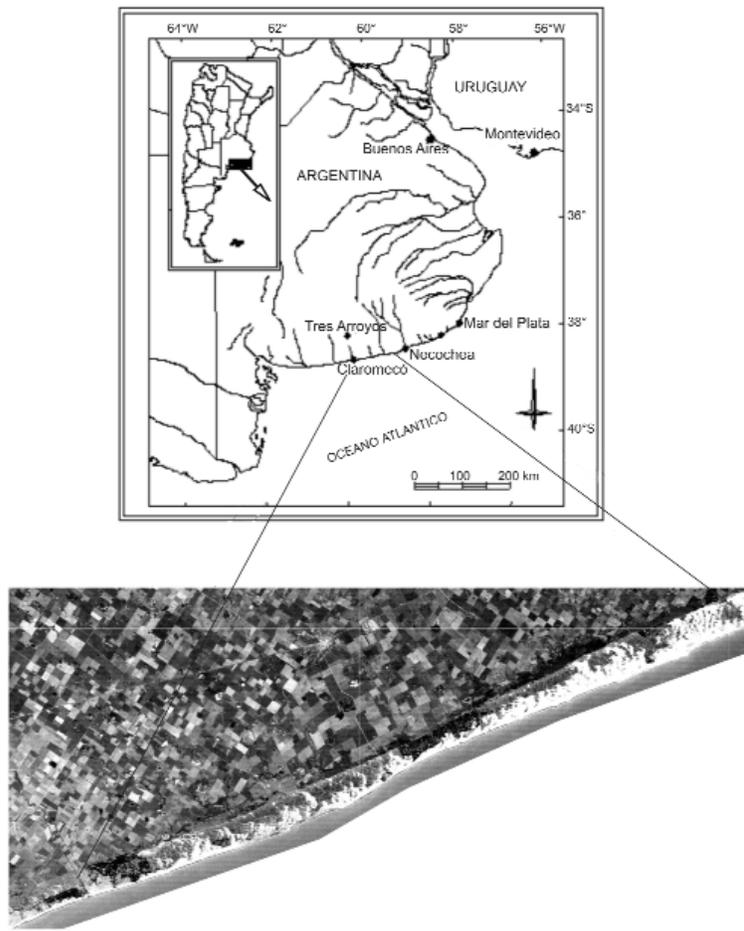


Figura 1: Ubicación del área de estudio e imagen satelital Landsat.

impacto de tormentas estacionales, alimentan las playas y son fuentes reservorio de agua dulce. Se ha monitoreado el efecto de la vegetación y la incidencia antrópica en el desarrollo de villas turísticas como Claromecó, Orense y balneario San Cayetano. Para analizar estos cambios se seleccionaron fotografías antiguas con buena resolución espacial (3 m) tomadas por el satélite Corona durante el periodo 1960-1972 y liberadas al público en 1995 (Day *et al.* 1998). En este trabajo se utilizó un negativo del año 1965 (KH-4 A), el cual fue contrastado en el tiempo mediante imágenes Landsat 5 de los años 1999-2000.

AREA DE ESTUDIO Y MARCO GEOLÓGICO

El sector de costa estudiado (Fig. 1) abarca una franja de 210 km² entre el arroyo Zabala (37° 49' S y 50° 30' O) y las inmediaciones del arroyo Claromecó (38° 51' S y

60° 33' O). La franja medanosa se apoya sobre limos pardo rojizos de edad plio-pleistocena. En la barrera austral de la provincia de Buenos Aires se han enumerado tres ciclos de movimiento de estos médanos que se inician hace unos 6.000 años (Isla *et al.* 1996 y 2001a). La geomorfología del sector se completa con la descripción de playas con orientación oeste-este cuyo ancho varía entre 150 y 250 m constituidas por arena fina (Isla *et al.* 2001b), y que por tramos pueden dominar las plataformas de abrasión constituidas por limolitas oscuras del Ensenadense con un ancho variable entre 50 y 120 m. Por último se describen sectores de acantilados activos que suelen estar sepultados por médanos cuya altura no excede los 6 m y que también se componen de limos entoscados.

El clima general de la región, según los datos aportados por la estación meteorológica Tres Arroyos (38° 20' Sur y 60° 15' Oeste ubicada a unos 60 km de la costa), es

de tipo templado-húmedo. Las precipitaciones medias anuales son de 760 mm, la humedad relativa es del 69%, los vientos al año 1990 predominaban del sector NW y las temperaturas medias anuales variaban entre 8,5° min y 21° de máxima (Servicio Meteorológico Nacional 1990). En los últimos 20 años el área ha tenido problemas de excesos hídricos que obligaron a practicar canalizaciones que alteraron la dinámica natural de lagunas costeras cerradas y desconectadas del régimen litoral, tales como las lagunas La Salada de San Cayetano, La Paja y Salada de Orense.

La región es una vieja cuenca sedimentaria que se habría iniciado en el Cámbrico y fue colmatada a través de cuatro ciclos de edad cámbrica, ordovícica-devónica, carbonífera superior-pérmica inferior, y terciaria superior (Lesta y Sylwan 2005). Los médanos se emplazaron sobre una planicie levemente ondulada labrada en sedimentos pampeanos que afloran en los acantilados marinos, y los pospampeanos componiendo las barrancas del arroyo Claromecó. Los sedimentos más viejos corresponden a los limos entoscados del Pleistoceno medio (Ensenadense, Frenguelli 1928) donde se pueden reconocer innumerables paleocanales. Tanto en el acantilado del faro de Claromecó como en el cauce del arroyo, se han identificado arenas gruesas correspondientes a una transgresión (Belgranense *sensu* Frenguelli 1928) y asignable al estadio isotópico 5e de hace 120.000 años AP según dataciones U/Th (Isla *et al.* 2000). La transición entre los sedimentos continentales y marinos correspondientes al emplazamiento de esta barrera pleistocena se reconoce en los acantilados del faro de Claromecó como conchillas incluidas en limos que fueron asignadas a ambientes de marisma para constituir el Prebelgranense de Frenguelli (1928). Los últimos tiempos del Pleistoceno están registrados como sedimentos de relleno del actual arroyo en facies fluviales, lacustres y de llanura de inundación (Fig. 2). Finalmente el Lujanense culmina en un paleosuelo de desarrollo regional (paleosuelo Puesto Callejón Viejo (*sensu* Fidalgo *et al.* 1973) que ha sido repetidamente fechado en la región en 10.000 años AP (Zárate *et al.* 1998, Isla 2002). Hacia el mar, hacia el sur, y siempre en las barrancas del arroyo Cla-

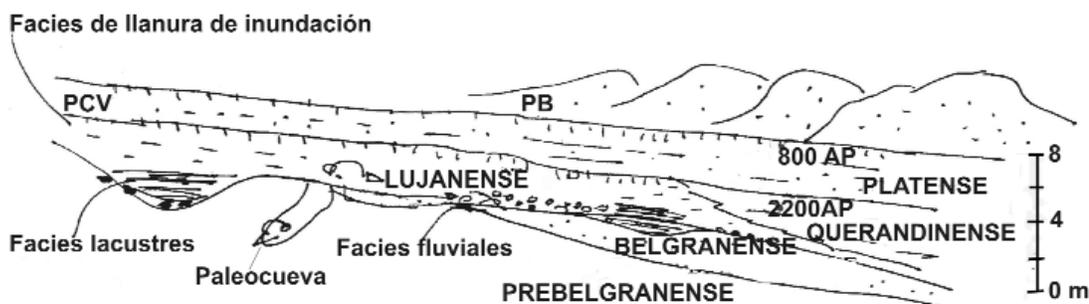


Figura 2: Perfil esquemático de las unidades geológicas sobre las que se asentó la barrera medanosa en las barrancas del arroyo Claromecó. Las paleocuevas son comunes en el Prebelgranense.

romecó, afloran limos estuarinos muy ricos en materia orgánica que Frenguelli (1928) atribuyó a su Querandinense. Esta secuencia de limos en transición a arenas ha sido materia de estudios sedimentológicos y micropaleontológicos que indicaron que su porción superior abarca entre 2.200 y 800 años AP (Stutz 2000, Hassan *et al.* 2004). Existe un paleosuelo (Puesto Berrondo *sensu* Fidalgo *et al.* 1973) que culmina el relleno postpampeano de este pequeño valle, y que es la base sobre la que se desplazaron los médanos y se emplazó la barrera medanosa austral.

Teruggi (1959) muestreó las arenas de estas playas a mediados del siglo XX. Diversos trabajos a nivel internacional aplicados a sectores costeros se han enfocado más en el aspecto morfológico de médanos costeros (Jennings 1957, Tinley 1985, Tomazelli 1990, Carter *et al.* 1990, Birds 1990, David 1998) así como a sus implicancias climáticas (Fryberger 1979).

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado para desarrollar esta investigación fue el siguiente: a) negativo fotográfico del satélite Corona año 1965; b) fotografías aéreas del MOP escala 1:20.000 año 1984; c) imágenes satelitales Landsat 5 TM año 1999-2000; y d) estadísticas meteorológicas.

Los principales métodos aplicados al material disponible fueron los siguientes:

1) El programa Corona de reconocimiento satelital que comenzó a fines de 1950 y se extendió hasta 1970, El negativo utilizado correspondió a la misión Corona KH4b la cual llevaba dos cámaras panorámicas con un ancho de film de 70 mm, un formato de

cuadro de 76 cm², distancia focal 61 cm, resolución óptica 3 m, altitud de toma 160 km, escala 1:305.000 y una cobertura de 1.526 km². Dicho negativo fue transformado a formato digital mediante scanner a 1200 puntos por pulgada, posteriormente fue ajustado geométricamente y referenciado a coordenadas Gauss Krugger. Se procedió a remuestrear el mismo a una resolución espacial de 15 m, con realce de contraste y filtrado direccional de realce de borde (filtro operador de Roberts).

A partir de aquí se implementó un análisis digital mediante vectorizado y cálculo de áreas según clases temáticas seleccionadas.

2) El material fotográfico a escala 1:20.000 fue analizado mediante estereoscopio de espejos a los fines de obtener los parámetros morfométricos de las formas medanosas (largo, ancho, altura) así como distancias entre médanos. Posteriormente este material se transformó a formato digital mediante scanner a 600 dpi para aplicación de técnicas de superposición y vectorizado.

3) Las imágenes TM de 1999 fueron procesadas mediante corrección radiométrica que atenuó el efecto de la atmósfera así como los efectos de observación del sensor utilizando filtros lineales. Posteriormente fueron rectificadas geométricamente mediante algoritmo de convolución y puntos de control obteniendo un error medio cuadrático (RMS) aceptable, quedando la imagen en coordenadas Gauss-Krugger.

Con posterioridad se efectuó realce de contraste (*stretching*) y filtrado. Un remuestreo a 15 m de resolución espacial permitió la superposición con la foto Corona. A continuación se efectuó una composición de bandas en falso color (RGB) 543 así como un análisis de componentes principales (*tas-*

seled cap) e índice de vegetación normalizado (NDVI). Técnicas de supervisado (*maxlike*) permitieron obtener el área en ha de sectores de interés (Eastman, 1999 IDRISI 3.2). 4) Morfología de playas y dunas: Se utilizó información disponible acerca de olas y mareas (energía y amplitud) así como pendiente de playa y parámetros texturales del sedimento a intercambiar en el área de estudio así como la influencia del clima (precipitaciones y viento) mediante análisis de estadísticas climatológicas y confección de gráficos. También se evaluó el posible comportamiento dinámico del campo de dunas según los resultados obtenidos del análisis en 34 años señalando el aspecto de migración de dunas, balance sedimentario y vulnerabilidad.

5) Estadísticas meteorológicas: A partir de los datos provenientes de la estación meteorológica de Tres Arroyos en series de 10 años (1951-1990) fue posible evaluar el régimen de vientos (velocidad media y frecuencia de las direcciones) haciendo constar que dicho análisis se ve afectado por factores locales como la brisa marina y la rugosidad (vegetación, características del terreno). Algunos autores han categorizado estos regímenes de viento según su variabilidad direccional en unimodales, bimodales así como su energía (Fryberger 1979).

RESULTADOS

ESTADÍSTICA DE VIENTOS

Los vientos más frecuentes provienen del norte y noroeste; los más intensos del suroeste (Fig. 3a). Tomando en consideración que en este campo de médanos domina la arena media (0,25 mm) se requieren velocidades de 6 y 7,3 m/seg (medidos a alturas

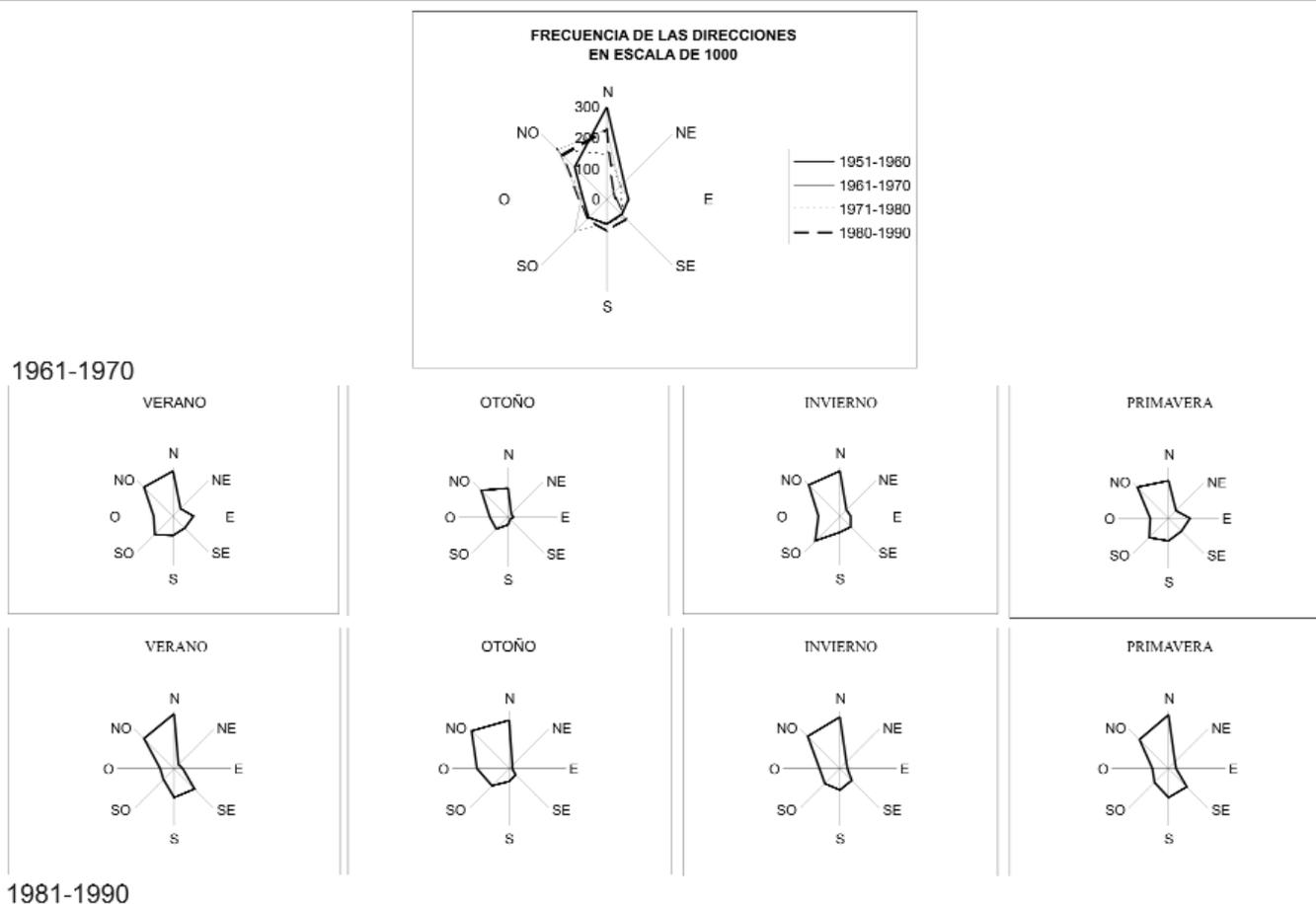


Figura 3: a) Frecuencia de los vientos por período y por estación.

de 2 y 10 m de la superficie respectivamente). Estos datos se analizaron considerando que valores de 5 m/seg mantienen la arena fina en saltación a 1 m de altura (Tomazelli 1990). Sin embargo se debe hacer notar la existencia de una variabilidad en el comportamiento de los flujos de aire sobre la playa y sobre los médanos (rugosidad superficial) que pueden explicar algunos rasgos morfológicos. Un análisis estacional de las frecuencias y velocidades medias enfocado en la serie (1961-1970 y 1981-1990) (Figs. 3a y b) demuestra que los vientos más veloces ocurren en primavera - verano desde el SO. Estos datos sumados al efecto del aumento en las precipitaciones explican la reducción de un 28% del volumen de las formas medanosas dado que la migración de los cuerpos mayores ha sido sumamente lenta con la consecuente evolución de los sectores vegetados por pasturas. Resultó fundamental el efecto que ejerció la implantación de masas forestales (vivero Claromecó año

1944 con 1.500 ha) con la finalidad de fijar los médanos y cuyo efecto inmediato fue la alteración del natural intercambio de arena por acción eólica (Isla *et al.* 1998).

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

De los procedimientos aplicados a las fotografías del satélite Corona y la imagen satelital Landsat surge una reducción de la superficie de los cuerpos medanosos ubicados en los primeros 300 m desde la línea de pleamares. Técnicas de supervisado como el maxlike permitieron discriminar 3 tipos de cobertura (médanos libres, semifijos y fijos) controlados por la vegetación herbácea y contenido de humedad del sustrato. Hacia el interior del campo de dunas (2.000 m aproximadamente) se observa una degradación de las formas barjanoides reduciendo su volumen y curvando sus extremos evidenciando una transición a formas parabólicas así como rasgos de retrabajamiento de

su superficie y caras de avalancha por acción eólica.

El proceso de vectorizado sobre la imagen satelital y fotografías aéreas permitió obtener un vector resultante que describió la dinámica de migración y orientación de dunas (a partir de frecuencias y velocidad de vientos) en el período analizado manteniendo una orientación ONO (año 1990). Asimismo se demarcaron mediante polígonos los sectores sujetos a erosión (Fig. 4).

El procesamiento tasseled cap removió la redundancia espectral resaltando brillo, verdor y humedad (canales rojo, verde y azul) y corroboró un aumento en las condiciones de humedad del suelo relacionado con la tendencia estadística (datos del SMN 1980-2000) en el aumento de las precipitaciones medias. La zona de médanos vegetados se fue ampliando impidiendo la migración y elevando el nivel freático que permitió el desarrollo de rasgos lineales relacionados a antiguas posiciones del médano (*dune track*

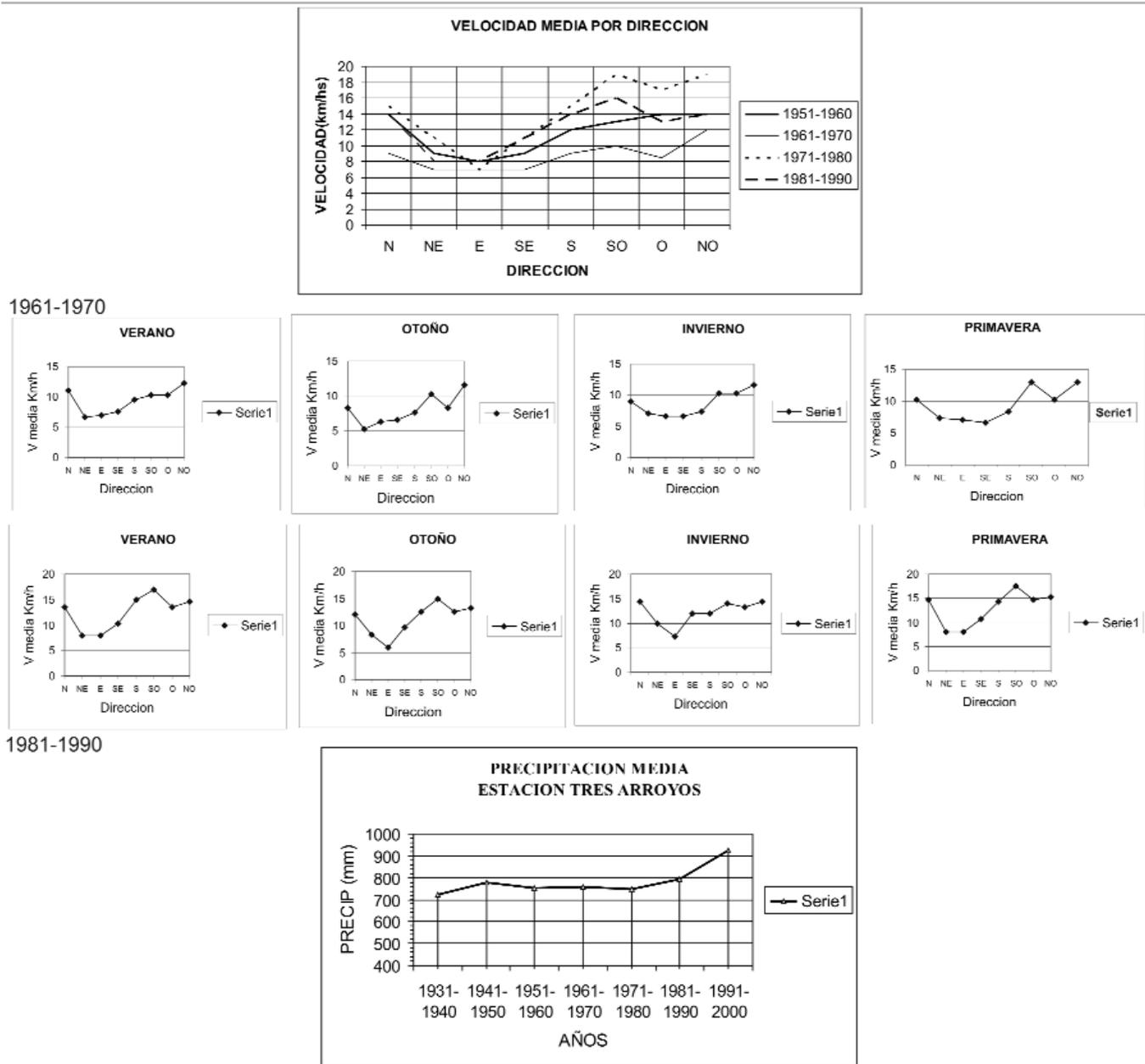


Figura 3: b) Velocidad media de los vientos y datos de precipitación.

ridges sensu David 1998) 1) (Cuadro 1).

MORFOLOGÍA DE MÉDANOS

Los sectores analizados fueron los balnearios Claromecó, Orense y San Cayetano. Si bien existen diversos modelos clasificatorios de morfología de médanos basados en aspectos genéticos, dinámicos o topográficos (Smith 1960, Cooper 1958, Tinley 1985), se ha seguido la clasificación de Mac Kee (1979) quién distingue formas básicas (parabólicas, en estrella, longitudinales y

CUADRO 1: Reducción de los cuerpos arenosos en hectáreas.

	Area Médanos Semifijos	Area Médanos Fijos
Foto Corona 1965	11602	9398
Imagen Landsat 1999	8380	12620
Balance	-28%	+72%

transversales). Según este método se han reconocido médanos transversales, barjanoides y parabólicos dominados por vientos de baja energía y baja variabilidad direccional (Fryberger 1979).

a) Médanos transversales barjanoides: Se reconocieron formas aisladas paralela a la

línea de costa como médanos frontales a unos 100 m del sector de pleamares adquiriendo formas semicirculares con alturas variables entre 10 y 15 m en su cara de rep-tación y modificación de la orientación de la cara de deslizamiento, hacia el interior del campo de dunas tienden a empalmarse

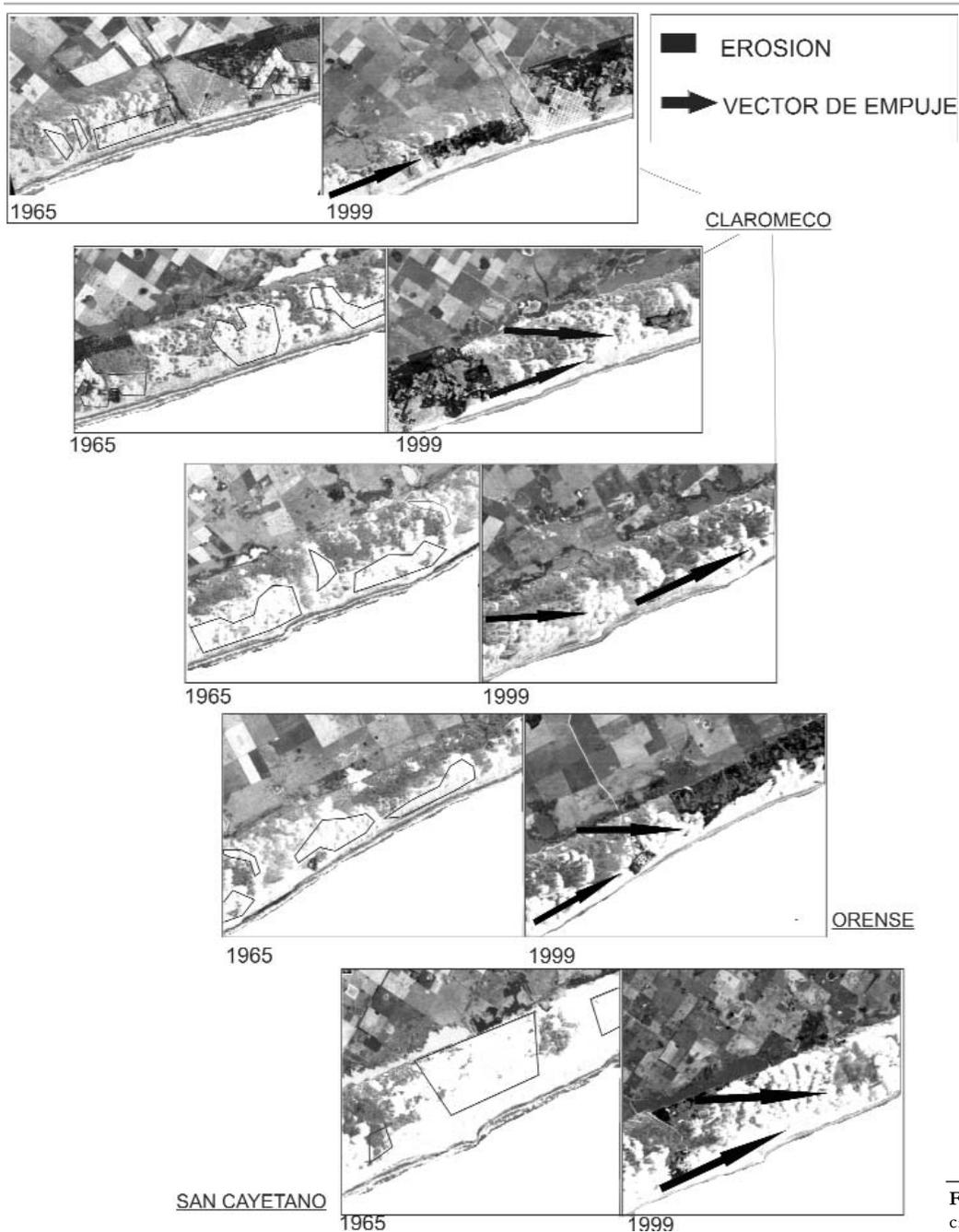


Figura 4: Areas de erosión y dirección del vector de empuje.

en cadenas con crestas sinuosas y formas más alargadas. En Claromeco y Orense se reconoció una reducción en volumen y tendencia al parabolismo (Fig. 5) mientras que en San Cayetano predominan las formas transversales. El material arenoso analizado de médanos exclusivamente costeros por Teruggi (1959) arrojó una granulometría fina y muy bien seleccionada en el sector de cresta de médano. El área intermedanosa varía entre 200 y 400

m reduciéndose hacia San Cayetano. Algunas crestas orientan norte-sur pero predominan la orientación NNE-SSO (Cuadro 2).
 b) Médanos parabólicos: Se emplazan dentro de una franja de 1.800 m de ancho sumamente vegetada (vegetación herbácea) y humectada. Estas condiciones han favorecido el anclaje de las formas transversales su consecuente degradación y evolución a formas parabólicas con brazos en forma de "V" apuntando al O y ONO. Siguiendo las

clasificaciones de Hesp (1999) y Barreto *et al.* (1997), se han reconocido las siguientes morfologías:

- Formas parabólicas simples simétricas.
- Formas parabólicas compuestas asimétricas (anidadas y digitadas) con distancias entre brazos que van 100 a 200 m.

El análisis de la frecuencia de vientos al año 1990 indica un aumento en las condiciones de humedad. Esto ha permitido reconocer, en estos médanos y en menor medida en

DISCUSIÓN

El grado de humedad del suelo ha sido un factor preponderante en la evolución morfológica del campo de dunas. El principal factor es la velocidad mínima que requiere el sedimento para iniciar al movimiento el cual es superior respecto de superficies secas. El transporte de arena en superficies húmedas está supeditado al poder de evaporación, el contenido de agua y su profundidad respecto a la superficie seca además de la velocidad del viento (Hotta *et al.* 1984). Algunos estudios efectuados en regiones áridas han puesto en evidencia la relación existente entre las formas medanosas y la disponibilidad del sedimento así como la variabilidad del régimen eólico (Livingston y Warren 1996), pero estos esquemas no son aplicables a áreas costeras donde imperan condiciones de humedad, y efectos antrópicos.

El sedimento trasladado por deriva litoral (de oeste a este) conforma playas mesomareales de arena fina de 160 y 240 m de ancho (Isla *et al.* 2001 b), Como se desprende del análisis digital del sector próximo a Claromecó sus playas son las de mayor extensión (240 m) y en consecuencia implicarían una mayor disponibilidad de sedimento a ser transportado. Sin embargo se reconoce una menor energía litoral en los sectores de balneario Claromecó y balneario Orense donde el intercambio de arena con el área de médanos sería menor, favorecida además por el efecto antrópico (urbanización-forestación). Hacia el balneario San Cayetano la disponibilidad de sedimen-

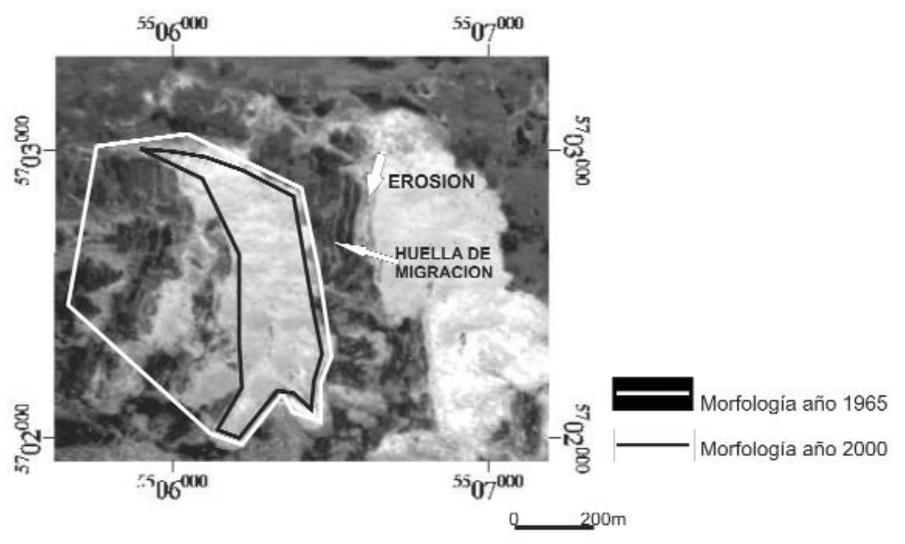


Figura 6: Evolución, modificación de las formas y rasgos de migración de médanos.

to es mayor y el volumen de sedimento a intercambiar dependerá como se mencionara de la velocidad del viento, tamaño de las partículas (las finas retienen mayor cantidad de agua) y área de arena seca que es la que efectivamente se transportará parámetro que debe tomarse entre la línea de pleamares ordinaria y la base del médano (*feteh* mínimo, Nicking y Davison-Arnott 1990) lo que no fue posible determinar con el material disponible en este trabajo ya que existe una variabilidad en la posición de la línea de pleamares que debería ser monitoreada en secuencias fotográficas de mejor escala. Todas estas observaciones permitirían explicar mejor la cantidad de sedimento que estaría disponible para intercambiar entre los sectores de playa y médano. Existen algunos métodos que permiten calcular la cantidad de arena que puede ser

transportada por el viento potencialmente en una determinada dirección mediante una fórmula que involucra la velocidad media del viento, velocidad límite de inicio de movimiento y tiempo en que sopló el viento ($V=V^2(V-V_c) t$) (Fryberger 1979). Si bien la misma se halla afectada por la humedad del suelo, vegetación o variaciones topográficas es comúnmente usada como caracterización general.

Otros autores proponen métodos de cálculo del transporte de material en m³/año por el viento considerando otros parámetros (densidad del aire, velocidad de corte, gravedad, longitud de la playa, diámetro medio del sedimento; Bagnold 1941). Estos desarrollos matemáticos podrían ser aplicables al área de estudio con un conocimiento más acabado sobre factores como humedad relativa, pendiente o los efectos de la vege-

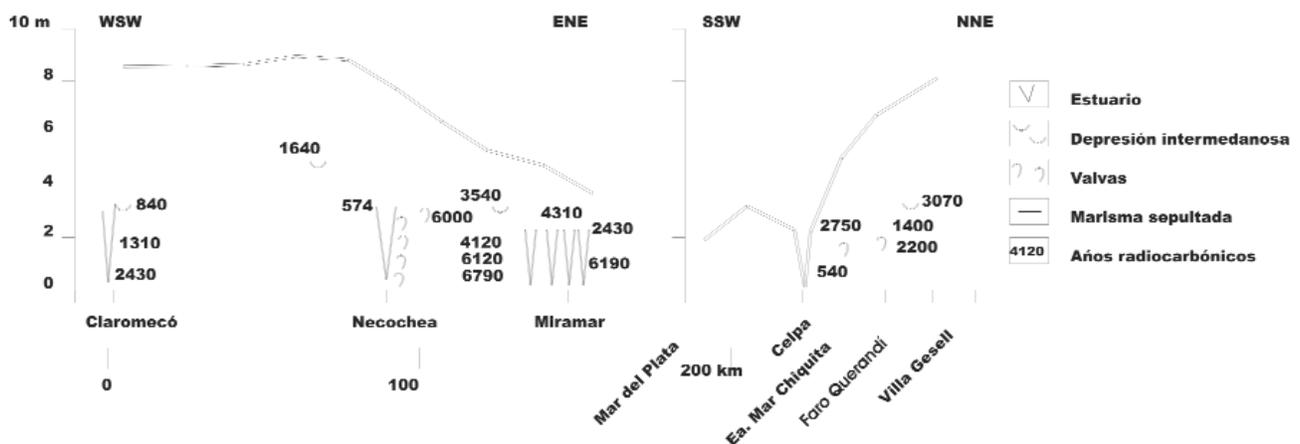


Figura 7: Edades de los depósitos estuáricos e intermedanosos que infrayacen las barreras medanosas de Buenos Aires (Isla *et al.* 2001a).

tación. Esta última como se evidencia en los 34 años de análisis ha tenido un control preponderante en la morfología medanosa. Las masas forestales implantadas han reducido la deflación de arena y la vegetación natural de pasturas han anclado los médanos reduciendo la velocidad de corte del viento (velocidad crítica), como fue demostrado en la variación del perfil de viento ante la presencia de vegetación (Olson 1958). Asimismo las especies vegetales y su densidad actúan reduciendo o aumentando los mecanismos de transporte (tracción y saltación) del material. El rol del sedimento en el potencial de transporte se ve caracterizado por su grado de selección, forma y tamaño ya que una buena selección y granulometrías finas aumentan dicho potencial. De los parámetros texturales extraídos de trabajos de campo (Teruggi 1959) se reconoció para el área de estudio una transición entre arenas de playa media-fina moderadamente seleccionadas a arenas de médano finas y bien seleccionadas.

Las características morfosedimentarias y climáticas del sector en estudio permiten inferir un fenómeno de degradación de las formas medanosas respecto a su situación al año 1965. Esto ha sido favorecido por el anclaje ejercido por el desarrollo de la vegetación y aumento en el contenido de humedad sobre todo en el sector este balneario Claromecó y oeste de balneario Orense, y en menor medida en las cercanías del balneario San Cayetano. No se tuvo en cuenta la recurrencia de tormentas estacionales las cuales pueden modificar sustancialmente la morfología costera así como los factores que pueden modificar la dirección del vector resultante de empuje del viento en el campo de médanos (rugosidad, brisa marina, flujos de vientos encontrados) para lo cual las estadísticas utilizadas en este trabajo deberían ser ajustadas a mediciones situadas en el mismo campo de médanos.

Respecto a la cantidad de sedimento que puede intercambiarse entre la playa y los médanos algunos autores han propuesto modelos de balance sedimentario para sectores costeros basados en la dinámica eólica y comportamiento de olas (Illenberger y Rust 1988). Otro modelo propuesto sugiere el análisis de tres posibles escenarios según dominen factores litorales o climáticos y a

partir de esto se plantea una fórmula de balance neto (Psuty 1988). Siguiendo este último trabajo la situación enmarcada en la zona de estudio podría ajustarse al tercer escenario donde el balance neto sería mayor que cero ya que una mayor disponibilidad de sedimento excedería el potencial por acción eólica manteniendo un aprovisionamiento mínimo de sedimento para el campo de dunas las cuales de mantenerse la actual tendencia climática se irán degradando hacia formas parabólicas y consecuente estabilización (médanos semifijos y fijos). El sector de médanos frontales que se reconocieron desde 1965 que aparecen como formas aisladas se mantendrían en posición como lo muestra la imagen Landsat de 1999 siendo la playa la fuente principal de aprovisionamiento de arena.

Respecto a la edad de estos médanos, los esquemas de evolución comparada de las barreras medanosas de Buenos Aires (Isla *et al.* 1996) hacían suponer que la Barrera Austral había crecido mientras hubo una buena disponibilidad de arena en las playas como para permitir que los médanos "trepan" antiguos acantilados. Estos depósitos eólicos hoy quedan como dunas colgadas apoyadas sobre acantilados esculpidos antes de la transgresión holocena. Las dataciones en la base de los médanos de Claromecó han permitido establecer que en esta barrera hubo movimientos de médanos hacia el interior de la barrera (hacia el norte de Claromecó) por lo menos en los últimos 840 años. Es decir que en esta barrera "colgada" los médanos más antiguos se dan en la costa en los topes de viejos acantilados y los más jóvenes hacia el interior de la barrera. La Barrera Oriental en cambio se desarrolló preferentemente cuando el nivel del mar bajaba (últimos 4000 años) permitiendo una disponibilidad de arena tal que permitía la progradación de la barrera hacia el sur (al menos en el tramo Villa Gesell-Mar Chiquita) y el reciclado en los sectores de mayor disponibilidad de arena (sector norte). En este sector hay médanos que tendrían menos de 540 años (Isla *et al.* 2001 b).

CONCLUSIONES

1) El análisis de imágenes y fotografías en el área arrojó una reducción de la superficie

de médanos vivos de 28% para el período 1965-2000. El aumento del área vegetada (72%) modificó la morfología de los médanos transversales a parabólicos.

2) El factor climático analizado en series de 10 años (1951 - 1990) demostró que las mayores frecuencias de vientos provienen del N y NO. Sin embargo, los vientos del SO han tenido mayor importancia por su intensidad. Se halló una tendencia en la velocidad de los vientos a mantenerse entre los 10 y 16 km/h en promedio y sólo en la serie 1971-1980 se alcanzaron velocidades superiores de 18 km/h (que superan ampliamente los 5 m/seg requeridos para iniciar el movimiento de las arenas del sector, aunque seguramente estas velocidades son mayores en el sector costero considerado).

3) Se notó un aumento en las precipitaciones en la período 1971-1980 que tuvo una incidencia directa en la elevación de la napa freática y el desarrollo de pastizales naturales. Este aumento en la disponibilidad de agua ha incrementado los efectos de lagunas costeras "colgadas" en el drenaje de la zona.

4) Los sectores más afectados por los cambios reconocidos en este trabajo fueron el este de Claromecó y el oeste de Orense con menores efectos en el balneario San Cayetano.

5) De acuerdo a dataciones radiocarbónicas en el arroyo Claromecó, los médanos tienen menos de 840 años aunque pueden existir depósitos eólicos más antiguos relacionados a antiguos paleoacantilados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Susana Serra que colaboró en las tareas de análisis granulométricos. Los doctores R. Kokot y G. Bujalesky efectuaron aportes al manuscrito original.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bagnold, R.A. 1941. The physics of blown sand and desert dunes. Methuen, 256 p., London.
- Barreto, A. M. F., Suguio, K.; Branco, F. C. y Almeida, T. I. R. 1997. As megadunas parabólicas compostas do Cuaternario Tardio do Médio Rio Sao Francisco (Bahía) e sus implicacoes. Resumos expandidos, 6º Congresso

- de Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul (ABEQUA), Actas 3-9, Curitiba.
- Bird, E.C.F. 1990. Classification of European Coastal dunes. *Catena Supplement* 18: 15-24.
- Carter, R.W., Hesp, P. A. y Nordstrom, K.F. 1990. Erosional processes in coastal dunes. En Nordstrom, K.W., Psuty, N. y Carter, R.W.G. (eds.) *Coastal dunes: form and process*. John Wiley and Sons, 217-250, Chichester.
- Cooper, W.S. 1958. Coastal sand dunes of Oregon and Washington. *Geological Society of America, Memoir* 72, 169 p.
- Cortizo, L.C., y Isla, F. I. 2000. Land -Cover Change and cliff retreat along the coasts of Necochea and Lobería, Argentina. 9º Simposio Latinoamericano de Percepción Remota Puerto Iguazú, Formato CD 525-533 p., Misiones.
- David, P.P. 1998. Eolian processes and landforms. En *Geomorphic system of the Paliser Triangle, southern Canadian Prairies: description and response to changing climate*. Geological Survey of Canada, *Bulletin* 521: 25-39.
- Day, D. A., Logsdon, J.M., y Latell, B. 1998. Eye in the sky. The story of Corona spy satellites *Smithsonian*, 303 p. London.
- Eastman, J.R. 1999. IDRISI 32. A grid based geographic and image processing system. Clark University, Graduate Scholl of Geography, Worcester, Massachusetts.
- Fidalgo, F., Colado, U. y De Francesco, F. 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomus y Magdalena (provincia de Buenos Aires). 5º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 227-240, Córdoba.
- Frenguelli, J. 1928. Observaciones Geológicas en la región costanera sur de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias de la Educación, *Anales* 2, 145 p., Paraná.
- Fryberger, S.G. 1979. Dune forms and wind regime. En Mc Kee, G. (ed.) *A Study of Global Sand Seas*, US Geological Survey, 137-169 p., Washington, DC.
- Hassan, G., Espinosa, M. A. e Isla, F. I. 2004. Análisis paleoambiental de una secuencia del Holoceno tardío del arroyo Claromecó (Provincia de Buenos Aires, Argentina) basado en diatomeas. *Ameghiniana* 41(2): 161-170.
- Hesp, P. A. 1999. The beach backshore and beyond. En Short, A.D. (ed.) *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, J.Wiley and Sons, 6: 145-170.
- Hotta, S., Kubota, S., Katori, S. and Horikawa, K. 1984. Blown sand on a wet sand surface. 19º Coastal Engineering Conference (ASCE), Proceedings, 333 p., New York.
- Illenberger, W.K. and Rust, I.C. 1988. A sand budget for Alexandria coastal dunefield, South Africa. *Sedimentology* 35: 513-521.
- Isla, F.I. 2002. Significado de las inundaciones lujanenses (Pleistoceno Final) en la Pampa, Argentina. 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 705-712, El Calafate.
- Isla, F. I., Cortizo, L. C. y Schnack, E.J. 1996. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires. *Quaternary Science Reviews* 15(8-9): 833-841.
- Isla, F.I., Bertola, G.R., Farenga, M.O., Serra, S.B. y Cortizo, L.C. 1998. Villa Gesell: un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 5(1): 41-51.
- Isla, F. I., Bertola, G.R y Schnack, E.J. 2001. Morfodinámica de playas meso y micromareales de Buenos Aires, Río Negro y Chubut. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 8(1): 51-59.
- Isla, F. I., Cortizo, L. C., y Turno, O. H. 2001. Dinámica y Evolución de las Barreras Medanosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología* 2(1): 73-83.
- Isla, F. I., Rutter, N. W., Schnack, E. J. y Zárate, M. A. 2000. La transgresión Belgranense en Buenos Aires. Una revisión a cien años de su definición. *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales, Asociación Geológica Argentina* 1: 3-14.
- Jennings, J. N. 1957. On the orientation of parabolic or U-dunes. *Geography* 123: 474-480.
- Livingston, I. y Warren, A. 1996. *Aeolian geomorphology*. Addison Wesley Longman Limited, 211 p., United Kingdom.
- Lesta, P. y Sylwan, C. 2005. Cuenca Claromecó. En Chebli, G. A., Cortiñas, J. S., Spalletti, L. A., Legarreta, L. y Vallejo, E. L. (eds.) *Frontera exploratoria de la Argentina*. 6º Congreso de Exploración y desarrollo de hidrocarburos, IAPG, 10: 217-231, Mar del Plata.
- Mc Kee, M. D. 1979. Introduction to a study of global sand seas. En McKee, M. D. (ed.) *A study of Global Sand Seas*. U.S. Geol Survey, Professional Paper 1052, 429 p.
- Nickling, W.G. y Davison-Arnott, R.G.D. 1990. Aeolian sediment transport on beaches and coastal sand dunes. En Davidson-Arnott, R.G.D. (ed.) *Proceedings of the symposium on coastal sand dunes*. Ottawa National Research Council, 1-35.
- Olson, J.S. 1958. Lake Michigan dune development wind velocity profiles. *Journal of Geology* 66: 254-263.
- Psuty, N.P. 1988. Sediment budget and beach/dune interaction. *Journal of Coastal Research Special Issue* 3: 1-4.
- Sharp, R.P. 1963. Wind Ripples *Journal of Geography* 7: 617-616.
- Smith, H.T.U. 1960. Physiography and photo interpretation of coastal sand dunes. Office of Naval Research, Geography Branch, final report of contract no Nonr-2242(00), 26 p.
- Stutz, S. 2000. Historia de la vegetación del litoral bonaerense durante el último ciclo transgresivo-regresivo del Holoceno. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 127 p.
- Teruggi, M.E. 1959. Las arenas de la Costa de la Provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca. *Boletín Ministerio de Obras Públicas, Serie* 2(77): 1-37.
- Tinley, K.L. 1985. Coastal dunes of South Africa. *South African National Scientific Programmes, Report N 109*, 300 p.
- Tomazelli, L. J. 1990. Contribução ao estudo dos sistemas deposicionales holocénicos do Nordeste da planície costeira do Rio Grande do Sul com ênfase do sistema eólico. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, tesis doctoral (inédita) 270 p.
- Zárate, M.A., Espinoza, M. A. y Ferrero, L. 1998. Palaeoenvironmental implications of a Holocene diatomite, Pampa Interserrana, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 11:135-152.

Recibido: 4 de enero, 2006

Aceptado: 27 de julio, 2006