

MORFODINÁMICA DE LAS DUNAS COSTERAS DEL CABO SAN ANTONIO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Rubén A. López^{1,2}, Silvia C. Marcomini¹, María P. Bunicontro¹

¹ Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires; Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, C1428EGA, Argentina.
rlopez@gl.fcen.uba.ar; scm@gl.fcen.uba.ar

² Universidad Nacional de Avellaneda, Departamento de Ciencias Ambientales. España 350, Avellaneda, Argentina.

ARTICLE INFO

Article history

Received March 15, 2016

Accepted March 23, 2017

Available online March 28, 2017

Handling Editor

Diana Cuadrado

Keywords

Duna costera

Erosión

Hidrodinámica costera

Cabo San Antonio

Argentina

RESUMEN

Las dunas costeras son reconocidas en la mayoría de las costas del mundo, pero son más comunes en las costas disipativas, como las del Cabo San Antonio, provincia de Buenos Aires (Argentina), donde la baja pendiente de las playas permite el desarrollo de áreas de generación extensas que proveen condiciones óptimas para su formación. Las dunas costeras del Cabo San Antonio se desarrollan en una faja paralela a la costa, con un ancho que varía entre 20 y 70 m. Las alturas oscilan entre escasos metros a 10 m. Las pendientes de las mismas en el sector costero varían entre 3 y 7° y del sector continental de 7 a 18°. En el presente trabajo se ha caracterizado la sedimentología y geomorfología de las dunas costeras del Cabo San Antonio, evaluando los cambios temporales entre los años 1935 y 2000, y se analizaron las causas y consecuencias de la degradación provocada por las actividades antrópicas.

Los análisis sedimentológicos realizados en los 7 sitios de muestreo de las dunas costeras presentaron distribuciones unimodales, con valores de asimetría casi simétricos o levemente negativos y selección entre buena y muy buena de los sedimentos. Los valores de media comprenden un rango entre 2 y 2,72 ϕ , las distribuciones acumulativas no presentan truncamientos internos y más del 80% de las partículas son transportadas por saltación. Las muestras entre Mar de Ajó y San Clemente no presentan una variación significativa en sus características texturales, sin embargo las dunas costeras de Punta Médanos presentan mayor tamaño de grano y menor selección debido a la presencia de playas intermedias a disipativas y mayor energía de oleaje.

Se diferenciaron dos categorías de dunas costeras, las *naturales* y las *degradadas*. Dentro del primer grupo se reconocen *dunas incipientes*, formadas a partir del establecimiento de las primeras plantas vasculares (*Sporobolus coarctata* y *Panicum racemosum*) y las dunas costeras propiamente dichas, en las cuales los factores físicos como el viento, la humedad y la disponibilidad de sedimentos tienen mayor incidencia en la dinámica de su desarrollo.

La acción de fijación de la duna costera con especies alóctonas, así también como el arrasamiento total o parcial para el trazado de avenidas costaneras o construcción de edificios, casas o balnearios, provoca alteraciones y tiene una relación directa con el aumento de la vulnerabilidad a la erosión marina del sector costero. La urbanización a la que se sometió el litoral del Cabo San Antonio desde 1935 generó una rápida degradación, que para 1984 ya modificaba sustancialmente el 50% del cordón

de dunas costeras. Se determinó la tendencia de la velocidad de degradación del cordón costero, de aproximadamente 650 m.a⁻¹. De mantenerse esta tendencia para mediados de la década del 2030, no existirán áreas relativamente importantes del cordón costero natural.

EXTENDED ABSTRACT

Morphodynamic of a coastal dune field at San Antonio cape, Buenos Aires, Argentina

Coastal dunes are recognized in most of the world coasts, but are particularly common on dissipative beach systems, with low beach slopes, allowing the development of extensive areas of sand supply which provides optimal conditions for their development. The relationship between the beach environments and the coastal dunes regulates the dynamic balance in these types of coasts. Sand supply reduction between the beach-dune system commonly enhances erosion processes on beaches and promotes coastline retreat.

The purpose of this paper is to characterize the evolution of the aeolian landforms along a field of transgressive coastal dunes at micro and mesoscale, to estimate natural and human induced causes of modification. The models reconstructing the development of aeolian landforms derived from this study will be useful to predict future trends on the coastal dune field and for setting tools for environmental management.

San Antonio cape is a sand barrier spit that has progradated northward during the Holocene, integrating a depositional sedimentary sequence related to a marine transgression after the last maximum sea level about 6000 years ago (Violante *et al.*, 2001). It extends along the shorefront from Punta Rasa to Punta Médanos and is located in the northeast sector of Buenos Aires province, Argentina (Fig. 1).

Geomorphological interpretation is developed using field information and aerial photographs of 1964 (Naval Hydrographic Service) because it shows minimum anthropogenic modifications. Landscape evolution is determined comparing photographs of 1956 (Military Geographical Institute), 1964 (Naval Hydrographic Service), and 1991 (Punta Indio air base) and images from Google Earth.

The dune field is developed over a beach ridge plain that reaches a maximum height of 2.5 m. The maximum development of this dune field is at the southern sector of the study area, near Punta Médanos, where it reaches 4 km wide. The dune field width decreases northward having a minimum development near Punta Rasa (Fig. 1). Beaches are sandy, dissipative and with low slope. They can be uni or multibarred and between 40 and 200 m width. Dune fields are recognized according to their stability: inactive and active. The first type is composed of complex parabolic and blow-out dunes. The second one develops seaward, has higher sand transport rates and not many species of vascular plants. Eolian landforms in active dune fields are barchan, barchanoid ridges, and foredunes (Table 1).

Foredune in San Antonio occupies a strip parallel to the coast of about 20 to 70 m wide. It is 1 to 10 m high, seaward slopes range from 3 to 7°, while continental slope varies from 7 to 18°. Foredune sediments are composed of well to very well sorted fine sand, with unimodal and symmetrical or slightly negative skewness distributions. Mean grain size varies from 2 to 2.72 Ø, more than 80% of the sediment is transported by saltation (Table 3). Coarser grain size and more poorly sorted distributions are observed in the southward foredune sediments of Punta Médanos, in response to higher wave energy and the presence of a dissipative to intermediate beach profile (Masselin y Short, 1993)

Natural dune environments are characterized by incipient (Fig. 2) and transgressive foredunes (Fig. 3, 4). Foredunes are divided in *natural* and *degraded dunes* (Table 2), according to their conservation. The last ones are divided into forest (Fig. 5a and b), forest and fragmentated (Fig. 5c) and razed foredunes (Fig 5d).

Where the coastline has curvatures or inflections sand deposition increases on the beach, promoting sediment availability for the beach - dune interaction and favoring the generation of transgressive dunes.

However, the analysis of the coastline behavior shows that the coast is retreating between Mar de Ajo and Las Toninas at a rate 1.45 m/year during the last 50 years (López, 2010) and consequently the foredune tends to be degraded and stabilized.

The urban process that occupied the coast of Cabo San Antonio began in 1935 resulting in a rapid degradation of the coast (Fig. 6). Human degradation of the dune systems was mainly afforestation, beach and dune mining, building of avenues and houses on the seafront, artificial runoff to the sea and surface impermeabilization. By 1984, a substantial change in the coastal system affected 50% of the active coastal foredune (Fig. 6a). It was estimated a tendency of degradation along the coastal dune system of about 650 m/yr (Fig. 6c) from 1935 to 2000. If this trend continues in the future, the coastal dunefield would be completely degraded by 2030. It is demonstrated that the coastal dune stabilization with exotic plants and tree species, as well as the total or partial devastation for housing, sea front buildings, avenues design, piers construction, and beach resorts have increased vulnerability to the coastal erosion.

Keywords: Foredune, Erosion, Coastal hydrodynamics, Cabo San Antonio, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La corriente de deriva litoral es la principal fuente de aportes de sedimentos de la playa y el campo de dunas, sin embargo las condiciones aerodinámicas son un factor limitante en el desarrollo de las dunas costeras y en el aporte de sedimentos desde el sector continental a la playa (Marcomini, 2002). La interacción que existe entre los subambientes de playa y la duna costera regulan el equilibrio dinámico de estas costas. Por lo tanto cambios en el balance de intercambio de sedimentos del sistema playa-duna son potenciadores y disparadores de fenómenos de erosión de playas y retrocesos de la línea de costa.

Las localidades balnearias que se desarrollan en el frente costero del Cabo San Antonio presentan patrones comunes en los lineamientos utilizados para su urbanización, ocupación y criterios de uso de recursos. Por un lado, los loteos son incompatibles con la morfología preexistente. Por otro lado, la construcción de balnearios y el trazado de avenidas costaneras y perpendiculares a la línea de costa producen modificaciones en el escurrimiento superficial,

y la evacuación de excedentes pluviales a la zona de playa genera pérdida de sedimentos. Además, la extracción de arena de la playa y duna costera, como así también la interrupción de la dinámica litoral por la construcción de muelles y paredones en la playa distal afectan la disponibilidad y el transporte de sedimentos. La degradación e implantación de especies foráneas en el cordón de dunas costeras y la edificación en sectores cercanos a la playa inhiben e interrumpen el intercambio de arena entre los sectores de costa y playa. También la circulación de vehículos en la zona de playa y dunas degrada las morfologías (barras, bermas, etc.) y el grado de compactación de los sedimentos (Marcomini, 2002; López, 2010). Estas modificaciones en el medio han actuado en forma directa e indirecta desencadenando o potenciando fenómenos erosivos.

Los primeros rasgos de urbanización, en la fundación de cada una de las localidades costeras del Cabo San Antonio, estuvieron acompañados de la forestación de los predios, pero fundamentalmente del cordón de dunas costeras, con el objeto de evitar el ingreso de importantes volúmenes de arena a los sectores urbanos. En las localidades de Las Toninas, Mar de Ajó, San Bernardo, Mar del Tuyú y Santa Teresita, la eliminación de las dunas costeras, que interactúan con el mar durante las tormentas y mareas de siccigia extraordinarias, provocó un descenso del nivel de la playa y representa una de las principales causas del retroceso de la línea de costa (hasta 1,45 m.a⁻¹, López, 2010). La misma situación se observa en los sectores costeros donde las dunas han sido vegetadas con especies alóctonas e inadecuadas.

En el presente trabajo se ha caracterizado la sedimentología y geomorfología de las dunas costeras del Cabo San Antonio, evaluando los cambios temporales entre los años 1935 y 2000. Se han analizado las causas y consecuencias de la degradación provocada por las actividades humanas. Además se establecen criterios que permitan evaluar la tendencia futura del campo de dunas costeras.

Características del área de estudio y antecedentes

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte central de la Cuenca del Salado. Dicha cuenca tiene una dirección general noroeste-sudeste, una extensión de 650 km y ocupa un área de más de 70.000 km² con un volumen sedimentario de 260.000 km³, siendo su espesor máximo de 6,5 km en la zona del

Cabo de San Antonio (Urien y Zambrano, 1974). Una de las principales características de la cuenca es la ausencia de afloramientos anteriores al cuaternario. El relleno sedimentario es del Cretácico superior, Terciario y Cuaternario (Braccacini, 1972). El Cabo San Antonio tiene su origen durante el Holoceno y constituye una secuencia deposicional que comprende los ambientes sedimentarios vinculados a la transgresión marina del último máximo glacial (Violante *et al.*, 1992).

El Cabo San Antonio se extiende a lo largo de faja costera entre Punta Rasa (36° 18' S, 56° 45' O) y Punta Médanos (36° 53' S, 56° 40' O), en el este de la provincia de Buenos Aires (Fig.1). El clima de la región es húmedo, mesotermal, con déficit de agua nulo ó pequeño. Los registros de precipitación muestran un promedio anual de 970 mm. La temperatura media anual durante 1991-2000 fue de 16,3°C. La velocidad media anual del viento para el período considerando fue de 14,4 km h⁻¹, siendo la primavera y el verano las estaciones con las mayores velocidades medias.

Los sedimentos aflorantes corresponden a la Formación Punta Médanos, que se extiende a lo largo de la costa entre San Clemente del Tuyú y Mar Chiquita (Parker, 1979), y corresponde al campo de dunas costero que se emplaza como una franja de ancho variable con un máximo de hasta 4 km en las inmediaciones de Punta Médanos.

El litoral del Cabo San Antonio se puede clasificar como una costa de dunas, en función de la geomorfología predominante (López y Marcomini, 2011). La hidrodinámica de sus playas está regulada por una deriva litoral neta que moviliza los sedimentos de sur a norte. El régimen de marea es semidiurno con desigualdades diurnas, siendo las amplitudes máximas de 1,43 m en sicigias y las medias de 0,79 m. Por su rango de amplitudes (entre 0 y 2 m) se clasifica como una costa micromareal (Servicio de Hidrografía Naval, 2001). En períodos de tormenta, combinados con mareas de sicigia, el nivel del mar puede superar los 3 m de altura por encima de la media (López, 2010).

El modelo de playa se adapta al descripto por Spalletti (1980) para la costa bonaerense, con los subambientes de playa distal, playa frontal y cara de playa, reconociéndose en esta última los sectores de rompiente, deslizamiento y lavado. Las playas presentan anchos variables entre 40 y 200 m, son de baja pendiente y de gran continuidad lateral. Están

integradas por arenas cuya moda corresponden al intervalo arena fina (125-177 μ m), compuestas principalmente por cuarzo, líticos volcánicos, feldespatos y fragmentos de conchillas (Teruggi 1957; Mazzoni 1977).

Mazzoni y Spalletti (1980) consideraron las playas del sector comprendido entre Punta Médanos y Punta Rasa como zona de acreción, por poseer granulomertría menor a la media y percentil 1 (en relación con las de Villa Gesell y Pinamar), predominio de arenas de tamaño fino y muy fino sobre mediano y grueso. La totalidad del área de estudio, por sus características geomorfológicas y por su historia geológica reciente, se puede interpretar como una costa de acumulación. Sin embargo, el análisis del comportamiento de la línea de costa indica que entre los años 1956 y 2007 gran parte de su costa, particularmente la zona centro del Cabo San Antonio (Mar de Ajó, San Bernardo, Las Toninas, Santa Teresita y Mar del Tuyú), se encuentra en retroceso con valores de 0,21 a 1,45 m.a⁻¹ (López, 2010).

Dunas costeras

Las dunas costeras pueden ser definidas como depósitos de arena en contacto y por encima del límite superior de la playa distal, acumulados por la acción eólica en dirección paralela a la línea de costa. Han sido reconocidas en todo tipo de costas marinas (abiertas o de bahías), como así también en costas de estuarios, lagos y lagunas (Zenkovich, 1967; Goldsmith, 1989).

La génesis de las dunas costeras está vinculada con la presencia de la vegetación, donde las hojas y los tallos de las plantas interrumpen el movimiento de saltación de las partículas, por lo que el transporte decrece y se produce la depositación en sus inmediaciones (Gripp, 1968). La depositación de arena, en relación con la rugosidad (Olson, 1958), está controlada por la densidad de plantas, la altura y velocidad del viento (Bressolier y Thomas, 1977). El tipo de planta actúa en la interrupción del transporte, ya sea por el tipo de tallo y hojas, como así también por la condición de perennes y caducas (Davis, 1964; Hesp, 1983). La condición perenne de la planta, tanto anual como bianual, tiene importancia para dar longevidad a la duna incipiente y favorecer su desarrollo horizontal y vertical (Maun, 2009). Sin embargo, no todos los depósitos de arena generados en el entorno de una planta terminan conformando

una duna costera. Con posterioridad al estadio en el cual el depósito se origina a expensas de la vegetación, la duna se puede seguir desarrollando sin necesidad de las plantas (Cooper, 1967). Hesp (1984) diferencia dos tipos de dunas costeras, las dunas incipientes y las dunas costeras estables. Las incipientes corresponden a los primeros depósitos de arena, provocados por la interrupción del transporte por la vegetación; y las dunas costeras propiamente dichas o estables son aquellas con permanencia en el tiempo, cuando la morfología está adaptada a la dinámica costera. Para Carter (1993), las dunas incipientes son precursoras de las dunas costeras estables, ya que conforman una sucesión necesaria para formar una duna costera permanente o propiamente dicha. El crecimiento morfológico de las dunas incipientes para alcanzar a formar dunas costeras estables o permanentes depende de factores primarios como la densidad, distribución, altura y cobertura de las plantas, la velocidad del viento y la tasa de transporte de arena. También inciden el ancho de playa, las variaciones temporales en el aporte de sedimentos (migraciones de las barras y variaciones estacionarias), las variaciones climáticas, el desarrollo de campos de dunas en zonas interiores y la altura del nivel freático (Hesp, 1988; Law y Davidson-Arnott, 1990). Se reconocen factores secundarios como la recurrencia del lavado, sobrelavado y la actividad de las tormentas sobre los depósitos embrionarios, como así también la dirección del viento (Cowles, 1898; Ranwell, 1972; Davies, 1980). El pasaje entre una duna incipiente y una duna costera propiamente dicha es de entre 5 y 8 años (Carter y Wilson, 1990). En las costas disipativas con amplias playas se tienden a formar dunas costeras de gran desarrollo, mientras que en las costas reflectivas con playas estrechas las dunas costeras tienen menor magnitud (Hesp, 2002). Estos autores incorporan a la actividad humana como factor condicionante para el desarrollo de este tipo de dunas. Los cambios en las variables que regulan la dinámica de las dunas costeras por las actividades humanas, como por ejemplo, interrupción del aporte de sedimentos, pérdida de cobertura vegetal, etc., causan la degradación de la geoforma (Nordstrom, 1994; Nordstrom *et al.*, 2007).

En Argentina, los primeros trabajos que describen y analizan las alteraciones antrópicas en las dunas costeras se realizaron en la localidad de Villa Gesell (Marcomini y López, 1997; Isla *et al.*, 1998). Bértola



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. **A)** Terraza de acreción marina **B)** Campo de dunas.
Figure 1. Location map of the study area. **A)** Marine accretion terrace **B)** Dune field.

y Cortizo (2005) realizaron un trabajo pionero en la medición de parámetros físicos vinculados con las variables reguladoras de las dunas litorales del sudeste de la provincia de Buenos Aires (coeficiente

CAMPO DE DUNAS COSTERO	
Campo de dunas activo	Campo de dunas inactivo
Duna incipiente	Parabólica
Duna costera	Parabólica compuesta
Barjan	Dunas complejas (parabólicas y dunas en voladura)
Crestas barjanoides	

Tabla 1. Tipo de dunas del campo de dunas costero clasificadas según la estabilidad del mismo.

Table 1. Dune types of the littoral dunefield classified according to the stability.

de rugosidad, velocidad de fricción, tensión de corte en la superficie, velocidad de iniciación de movimiento, coeficiente de arrastre y tasa de transporte del sedimento) permitiéndoles determinar que cuando la velocidad del viento se duplica, el volumen de material transportado es 5 veces mayor. Marcomini y López (2010) y López y Marcomini (2013) emplearon el grado de conservación de la duna costera como variable en el desarrollo de matrices de vulnerabilidad y riesgo, resultando ser un parámetro relevante en el análisis de la erosión costera en las localidades de Las Toninas y Mar del Tuyú. Más recientemente Carretero *et al.* (2014), utilizando imágenes satelitarias que cubren un período entre los años 1973 y 2010, estimaron la reducción de las áreas de recarga del acuífero en el campo de dunas litorales.

METODOLOGÍA

Se recolectaron muestras de las dunas costeras en 7 localidades (Punta Médanos, Mar de Ajó, La Lucila, Mar del Tuyú, Santa Teresita, Las Toninas y San Clemente del Tuyú), aproximadamente 500 gr de material. La rutina de laboratorio consistió en cuarteo de las muestras, ataque con agua oxigenada, secado de las muestras, pesado y tamizado con Rotap durante 20 minutos. El material retenido en cada tamiz fue pesado y estos datos fueron incorporados al programa Granus para realizar el cálculo de los parámetros estadísticos, por el método de momentos y el método gráfico (Perillo *et al.*, 1985). La información obtenida fue volcada en gráficos y tablas para

su interpretación y descripción. Con la información sistematizada se caracterizó granulométricamente y se analizó el tipo de transporte en las dunas costeras de cada localidad. Utilizando gráficos de frecuencia acumulativa en papel probabilístico se identificaron los segmentos de transporte y sus correspondientes truncamientos (Visher, 1969), utilizando el programa Origin.

La interpretación geomorfológica se efectuó sobre la base de información de campo y las fotografías aéreas del año 1964 a escala 1:40.000 (pertenecientes al Servicio de Hidrografía Naval), debido a que para ese año la costa presenta baja incidencia antrópica lo que permitió evaluar la acción de los procesos actuantes en condiciones naturales. Para determinar la evolución de las geoformas, también se utilizaron las fotografías pertenecientes a los vuelos de 1956 (Instituto Geográfico Militar, escala 1:35.000), 1991 (Base Aeronaval Punta Indio, escala 1:20.000) y 2000 (Base Aeronaval Punta Indio, escala 1:46.000). Se identificaron y mapearon distintas unidades geomorfológicas, se cuantificaron las áreas ocupadas por el cordón de dunas costeras en los distintos vuelos y se evaluaron y caracterizaron las modificaciones que sufrieron las dunas costeras. Se calcularon las variaciones porcentuales de las áreas alteradas de esta geoforma y los resultados fueron volcados en gráficos para poder analizar la tendencia temporal y su proyección futura.

RESULTADOS

Geomorfología

El paisaje de la región es compuesto, ya que ha sido modelado principalmente por los procesos marinos y eólicos, y en menor medida por el proceso fluvial. La costa se desarrolla sobre una espiga del Holoceno inferior, que ha progradado hacia el norte durante los últimos 5.000 años (Violante *et al.*, 2001). En el sector oeste se extiende una terraza de acreción marina (Fig. 1) constituida por un conjunto de cordones litorales correspondientes a las Facies Mar de Ajó de la Formación Pozo N° 17 (Parker, 1979) de rumbo NO - SE, que se hallan en buen estado de conservación e integrados por arena fina. Los cordones litorales presentan una longitud de onda variable entre los 40 y 60 m, y están totalmente edafizados y vegetados en forma diferencial entre crestas y senos. La morfología superficial de la

ESTADO	CLASIFICACIÓN		CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES
NATURALES	Dunas Costeras Incipientes		
	Dunas Costeras Transgresivas	Simples	
		Compuestas	
DEGRADADAS	Dunas Costeras Forestadas	Parcial	
		Total	
	Dunas Costeras Forestadas y Fragmentadas		
	Dunas Costeras Arrasadas		

Tabla 2. Clasificación de dunas costeras, modificado de Hesp (1984) y Pye (1990).
Table 2. Foredunes classification, modified from Hesp (1984) and Pye (1990).

terrazza fue retrabajada por procesos fluviales, conformando sistemas de cauces y bajos elongados paralelos a subparalelos controlados por la lineación de los cordones.

La terraza de acreción marina está cubierta parcialmente por un campo de dunas (Fig. 1). El mayor desarrollo de este campo se reconoce al sur, en las inmediaciones de Punta Médanos, donde alcanza 4 km de ancho y se acuña hacia el norte hasta la localidad de Punta Rasa. Esta unidad geomórfica corresponde a la Formación Punta Médanos (Parker, 1979) y también involucra los depósitos eólicos correspondientes a la Formación Estancia La Fe (Violante *et al.*, 2001).

En base al análisis sobre fotografías aéreas, se han podido diferenciar dos subunidades en el campo de dunas costero, dependiendo de la estabilidad: *campo de dunas activo* y *campo de dunas inactivo*. El campo de dunas activo se desarrolla en contacto con la playa, que es el sector que posee mayor tasa de transporte de arena, de forma tal que impide el desarrollo de la vegetación y procesos pedogenéticos importantes. En este campo se reconocieron crestas barjanoides y barjanas, y dunas costeras (Tabla 1). El campo de dunas inactivo se desarrolla como producto de la pérdida de actividad del campo de dunas activo,

compuesto por menores espesores de arena, donde predominan las dunas parabólicas compuestas y complejas, estas últimas con desarrollo de dunas en voladura en los brazos y crestas.

Las dunas costeras propiamente dichas son el rasgo eólico activo de mayor continuidad a lo largo del Cabo San Antonio. Se extienden formando un cordón o faja paralela a la costa en contacto con la playa, sin una morfología definida, con anchos que varían entre 20 y 70 m. Las alturas oscilan de escasos metros a 10 m aproximadamente. Las pendientes hacia el sector marino varían entre 3° y 7°, mientras que hacia el sector continental son de 7° a 18°.

De la comparación entre las fotografías aéreas desde 1964 se realizó un análisis geomorfológico-temporal que permitió establecer dos categorías de dunas costeras, las *naturales* y las *degradadas* (Tabla 2). En base a su grado de conservación, las primeras son geoformas resultantes de procesos eólicos y su interacción con procesos marinos (físicos y bióticos). Por otra parte, se denomina dunas costeras *degradadas* a aquellas en las que la acción del hombre, en forma indirecta o directa, produjo modificaciones en la geoforma o en las condiciones dinámicas de su desarrollo.

Dentro de las dunas costeras naturales que se



Figura 2. Características de las dunas incipientes en Punta Rasa. Se puede observar el desarrollo de depósitos de arena controlados por la vegetación.

Figure 2. Incipient dunes features in Punta Rasa. It can be seen the development of sand deposits controlled by vegetation.

identificaron en los sectores de costa, sin intervención del hombre (p. ej. Punta Médanos y Punta Rasa), se reconocieron *dunas incipientes* y dunas costeras propiamente dichas, en base a su estado evolutivo. Las dunas incipientes están asociadas con sectores de playa distal, los cuales conforman un área de generación de acarreo por saltación permitiendo el desplazamiento de los sedimentos hacia la costa (Fig. 2). Se forman por la interrupción del transporte de las partículas de arena por la vegetación que se desarrolla en el regolito depositado por las tormentas, en la zona superior de la playa distal. Las especies de plantas vasculares reconocidas que colonizan el límite superior de la playa, y son responsables de la acumulación de sedimentos, incluyen principalmente a *Sporobolus coarctatus* y *Panicum racemosum*. Este depósito, que no supera 1,2 m de altura, puede estar expuesto a la actividad de las tormentas y el sobrelavado, lo que indica que pueden ser erosionados total o parcialmente. Ello significa que no todas las dunas incipientes evolucionan a dunas costeras y que por lo tanto, dichas dunas presentan un alto grado de vulnerabilidad (Tabla 2).

En el sector costero entre San Clemente del Tuyú y Punta Rasa se reconoció un cordón de dunas

costeras propiamente dichas que progresa sobre la terraza de acreción marina sin una morfología definida (Fig. 3). Se puede diferenciar, en algunos sectores, una cara de deslizamiento en el sector continental donde su altura no supera los 4 m y su ancho varía entre 20 y 35 m. Esta morfología se considera como un cordón de *dunas costeras simples* (Tabla 2), equivalentes a las que Pye (1990) denominó dunas transgresivas. En estos sectores, las dunas incipientes evolucionaron a dunas costeras, por la existencia de mayores y continuos aportes de arena. La exposición a las tormentas es menor por estar más alejada de la influencia de las pleamares, aunque en eventos extraordinarios podría erosionarse la base de la duna, la cual se reconstruye en el término de 30 a 60 días sin afectar sustancialmente la estabilidad y la dinámica de la morfología. Una vez que la duna costera evolucionó, solo se reconocen parches aislados de la vegetación que le dio origen, que han sobrevivido al soterramiento. La morfología tiene una dinámica regulada por los aportes y las condiciones de vientos dominantes, con una componente de desplazamiento hacia el continente. Además, se reconoce en algunos sectores que se puede reiniciar el ciclo, donde existen dunas incipientes al pie de la



Figura 3. Duna costera sin intervención antrópica en las inmediaciones de Punta Rasa. Se puede observar las características transgresivas de las dunas sobre los cordones litorales que componen la terraza de acreción marina, formando un cordón de dunas costeras simples.

Figure 3. Foredune without anthropic intervention near Punta Rasa. It can be seen a transgressive foredune over the ancient beach ridges that conform the marine accretion terrace (simple foredune).

duna costera. Las condiciones descriptas permiten interpretar un mayor aporte de arena y menor vulnerabilidad a la erosión por tormentas.

En los sectores donde la costa presenta curvaturas o inflexiones (como en el sector norte de San Clemente del Tuyú y Punta Médanos), los anchos de playa aumentan sustancialmente, lo que permite mayor disposición de arena y, por lo tanto aumentan las áreas de generación donde la acción del viento transporta las partículas por saltación. Bajo estas condiciones, las dunas pueden desarrollar más de un cordón de dunas costeras, denominadas *dunas costeras compuestas* (Fig. 4, Tabla 2). La existencia de estos dos cordones no solo indica un mayor aporte de arena desde el sector marino, sino que también estaría vinculada con alternancias de períodos secos y húmedos y/o menor actividad de tormentas. Bajo estas condiciones, las dunas costeras desarrolladas en estos sectores son las menos vulnerables a la erosión marina.

Durante el periodo abarcado por el estudio (1935 y 2000), el sector costero sufrió modificaciones relacionadas principalmente con los desarrollos

urbanos. Así se inicia un proceso de alteración del medio físico, en el que las dunas costeras fueron sometidas a cambios significativos que impactaron en el equilibrio dinámico de la playa. Como consecuencia de la actividad antrópica, en forma directa o indirecta, se degradaron las dunas. En función del nivel de impacto de dichas tareas se han establecido tres categorías de dunas costeras degradadas:

Las dunas costeras forestadas. Son aquellas a las que se le implantaron especies alóctonas para su fijación. El resultado de esta acción se puede reconocer a lo largo de la costa, con una irregular densidad de cobertura, desde las fijaciones aisladas (parcialmente vegetadas, Fig. 5a), a las totalmente cubiertas (Fig. 5b). Estas dunas costeras se caracterizan por aumentar su altura, pudiendo alcanzar los 10 m. También aumenta su pendiente por actuar como una barrera para el intercambio de arena continente-mar, forzando la depositación en sus inmediaciones, como en la localidad de Playa Norte en San Clemente del Tuyú. Corresponden a las denominadas *dunas impedidas* (Pye, 1990).

Las dunas costeras forestadas y fragmentadas. Son



Figura 4. Sector de costa con dos lineaciones de dunas costeras transgresivas. Cordón de dunas costeras compuesto (Norte de San Clemente del Tuyú).

Figure 4. Present transgressive coastal dune fields with two foredunes (compound dune field, North of San Clemente del Tuyú).

las que, además de ser fijadas, se las fragmenta con el trazado de calles perpendiculares a la línea de costa, perdiendo la homogeneidad del cordón (Fig. 5c). Esto provoca una aceleración de la degradación de la duna costera por la deflación en todas las direcciones, generando deslizamientos, que con el tiempo tienden a la pérdida de altura y morfología original.

Las dunas costeras arrasadas. Son los sectores donde el cordón de dunas fue eliminado con el objeto de construir balnearios, casas o por el trazado de la avenida costanera (Fig. 5d). Estos sectores de costa están asociados a fenómenos de erosión debido al déficit que se genera en el abastecimiento de arena que normalmente aportan durante las tormentas.

Sedimentología

El estudio de los parámetros estadísticos de las muestras presenta valores de media entre 2,7 y 2 Ø, éste último correspondiente a la localidad de Punta Médanos, que tiene un valor de media más grueso que el resto de las localidades analizadas (Tabla 3). El tamaño de la media disminuye entre Mar de Ajó y Santa Teresita, donde se registra el valor mínimo de 2,7 Ø, para luego aumentar entre Las Toninas (2,54 Ø)

y San Clemente del Tuyú (2,32 Ø). Con excepción de la muestra de Punta Médanos, en la que se determinó la moda retenida en el tamiz de 2,5 Ø, el resto lo hizo en el tamiz de 3 Ø. La totalidad de las muestras presentan una sola moda. El intervalo modal, arena fina, posee el 85,2% de los sedimentos en promedio para las localidades desde Mar de Ajó a San Clemente del Tuyú, presentando un comportamiento diferente la de Punta Médanos con un 53,4% para el intervalo modal (Tabla 3).

Los valores de desviación estándar presentan valores de muy buena selección en el sector centro, entre La Lucila y Santa Teresita, buena selección para las localidades de Mar de Ajó, Las Toninas y San Clemente del Tuyú y moderada para Punta Médanos. Ésta última presenta los mayores anchos de playa, con baja intervención antrópica, ubicada en la inflexión sur del Cabo San Antonio. La mayoría de las muestras presentan valores de asimetría casi simétricos o levemente negativos. Las distribuciones en la mayoría de los casos son leptocúrticas, en Punta Médanos (0,72) y San Clemente del Tuyú (0,97). La totalidad de las muestras presentan truncamiento fino y grueso, sin truncamiento interno. Lo expuesto pone en evidencia que los mecanismos de transporte



Figura 5. Características de las dunas costeras degradadas. **A.** Dunas costeras parcialmente forestadas al sur de Nueva Atlántis. **B.** Dunas costeras totalmente forestadas en Estancia Solymar, La Lucila. **C.** Dunas costeras forestadas y fragmentadas en el centro de Santa Teresita. **D.** Dunas costeras arrasadas en San Bernardo.

Figure 5. Degraded foredunes. **A.** Partially forested foredunes in south Nueva Atlántis. **B.** Totally forested foredune in Solymar farm, La Lucila. **C.** Forested and fragmented foredune in Santa Teresita downtown. **D.** Destroyed foredune in San Bernardo.

y acumulación no cambian significativamente a lo largo de la costa, ni muestran una tendencia asociada con variaciones el sentido de la deriva.

DISCUSIÓN

La deriva litoral es la principal fuente de aportes de sedimentos del sector costero y la acción eólica es el segundo factor en importancia, pero esta última condiciona el desarrollo de las dunas costeras y el aporte de sedimentos desde el sector continental a la costa (Marcomini, 2002). Verón y Bertola (2014) consideran que en el Cabo San Antonio, las playas tienen poca disponibilidad de arena y el campo de dunas aparece regularmente con dunas activas pero mal alimentadas, lo que indica un proceso tendiente a la estabilización del campo en forma natural.

Las dunas costeras del cabo San Antonio se inician con la generación de sombras de arena a sotavento de la vegetación (dunas incipientes), el mismo mecanismo de desarrollo observado por Marcomini

et al. (2009) en las localidades de Villa Gesell y Faro Querandí. La amplia variabilidad en las condiciones de humedad, el intenso soterramiento y la alta tasa de transporte eólico, hacen que pocas especies sobrevivan a los períodos secos.

La duna costera propiamente dicha, que en condiciones naturales no supera los 4 m de altura, puede estar parcialmente vegetada hasta un 22% por especies autóctonas del tipo de *Sporobolus coarctatus* y *Panicum racemosum* (gramíneas) (Marcomini *et al.* 2011), y otras como *Cakile marítima* y *Calycera crassifolia* que actúan como acompañantes. Sin embargo, el desarrollo y la dinámica no están condicionados por los factores bióticos que dieron origen a las dunas incipientes en un principio, sino que prevalecen los factores físicos relacionados con los vientos, humedad y disponibilidad de sedimentos.

En la fundación de cada una de las localidades costeras del Cabo de San Antonio, los primeros rasgos de urbanización (fundamentalmente del cordón de dunas costeras) fueron acompañados de la

Duna costera	Media	Mediana	Moda	Selección	Curtosis	Asimetría	Nº de modas	T. Fino	T. Grueso
San C. Tuyú.	2,32	2,4	3	0,41	0,97	-0,18	1	3,1	1,98
Las Toninas	2,54	2,62	3	0,4	1,17	-0,19	1	3,4	1,6
Santa Teresita	2,72	2,69	3	0,31	1,24	0,06	1	3,1	2,1
Mar del Tuyú	2,66	2,67	3	0,3	1,23	-0,04	1	3,1	2,5
La Lucila	2,69	2,7	3	0,31	1,34	-0,03	1	3,1	2,2
Mar de Ajó	2,69	2,7	3	0,37	1,44	-0,05	1	3	1,8
Punta Médanos	2	2,07	2,5	0,54	0,72	-0,13	1	3,4	1,45

Tabla 3. Parámetros estadísticos de las dunas costeras del Cabo San Antonio. (T: truncamiento)

Table 3. Statistical parameters of the foredune of Cabo San Antonio. (T: truncation).

forestación de los predios con especies arbustivas y arbóreas alóctonas, con la finalidad de evitar el ingreso de importantes volúmenes de arena a los sectores urbanos. La especie más utilizada fue el tamarisco (*Tamarix gallica*) con muy buena adaptación a las inclemencias estacionales costeras. Otras especies que se utilizaron con éxito (en su capacidad de adaptación para forestar la duna costera) fueron las variedades de acacias marítimas (*Acacia trinervis* o *longifolia*). La finalidad de evitar el ingreso de arena a los centros urbanos se alcanzó en gran medida, pero el mismo mecanismo interrumpió el aporte de sedimentos desde los sectores continentales a la playa. Esta alteración de la aerodinámica en el circuito de intercambio de arena, que existe entre la playa, la duna costera y los campos de dunas interiores, causó un déficit en el balance sedimentario provocando la erosión de la playa y retroceso de la línea de costa.

A principios de la década del 30, los 67 km de costa en estudio presentaban dunas costeras naturales. En 1935 se realizaron los primeros loteos en Mar de Ajó y San Clemente del Tuyú, que iniciaron una tendencia continua de forestación, fijación y urbanización de estas geoformas. Para el año 1956, 14,15 km del frente costero del Cabo San Antonio (que representa el 22% del total del cordón) presentaban condiciones de degradación de la duna costera (Fig. 6a). Esta modificación de las dunas estaría relacionadas con la forestación con especies alóctonas (fundamentalmente *Tamarix*

gallica y en menor medida distintas variedades de *acacias*), relacionados con los desarrollos urbanos de Mar de Ajó, San Bernardo, Mar del Tuyú, Santa Teresita y San Clemente del Tuyú. Para la década del 60 se consolidaron y se ampliaron los primeros desarrollos urbanos y surgieron otros como La Lucila y Las Toninas. En el lapso de 8 años (1956-1964), la extensión de dunas degradadas se incrementó en un 90% (de 14,15 a 25,8 km), representando un 39% del total del cordón de dunas costeras (Fig. 6a). En 1984 la degradación del cordón alcanzó aproximadamente el 50%.

En 1991, el porcentaje del cordón de dunas costeras degradadas ascendió a 56%, que representa 37,7 km del frente costero, observándose el aumento de los sectores de dunas *forestadas* y *fragmentadas* y *dunas arrasadas*, a expensas de sectores *naturales* y *forestados* (Fig. 6b). En la actualidad se reconoce un escenario similar al evaluado con las fotografías aéreas del año 2000, donde se determinó un 61% del cordón de dunas costeras degradadas y un continuo aumento de los sectores de dunas *forestadas* y *fragmentadas* y *dunas arrasadas*.

Actualmente se reconocen dunas naturales en los sectores comprendidos entre Punta Médanos y sur de Nueva Atlantis, norte de Aguas Verdes y sur de Mar del Tuyú, norte de Santa Teresita y Costa Chica, Las Toninas y desde San Clemente del Tuyú a Punta Rasa. La tendencia de la velocidad de degradación del cordón costero fue de aproximadamente 0,65 km/a (Fig. 6c).

Alteraciones del Equilibrio Duna-Playa

La acción directa sobre las dunas costeras, como es el arrasamiento total de ellas generando *dunas costeras arrasadas*, como así también su arrasamiento parcial para el trazado de avenidas costaneras o construcción de edificios, casas o balnearios, generando *dunas costeras forestadas y fragmentadas*, provoca alteraciones tanto en la hidrodinámica como en la aerodinámica. Durante los eventos extraordinarios, como las tormentas, aumenta la tasa de transporte en el medio marino, lo que implica que se necesitan nuevas fuentes de aporte de arena para saturar el flujo. Normalmente el material es extraído en gran parte de la duna costera y de la playa distal y frontal, con los consecuentes escarpamientos de la duna y descenso del nivel de playa. Sin embargo, cuando la duna costera es arrasada o su aporte inhibido por su fijación, el medio marino se satura obteniendo mayor cantidad de arena de los sectores de playa. Bajo estas circunstancias, el nivel de playa desciende. Esto implica que con posterioridad a la tormenta, las mareas normales invaden mayores áreas de playa, lo que disminuye la capacidad de transporte eólico porque los sedimentos están húmedos. De esta forma aumenta el periodo de tiempo de la recuperación del perfil de playa, generando condiciones de mayor vulnerabilidad ante la recurrencia de tormentas. En este contexto se produce el colapso de estructuras costeras debido a la acción sucesiva de tormentas y aumento de los intervalos de recuperación de playa. De lo expuesto, se considera que las modificaciones a las dunas costeras y la extracción de arena de playa, se reconocen como las causas de mayor incidencia en la erosión de playa y retroceso de la línea de costa.

CONCLUSIONES

Se caracterizaron dos subgrupos de dunas costeras, en función de su estado, en naturales y degradadas. En las dunas costeras naturales se reconocieron: *dunas costeras incipientes*, *transgresivas simples* y *transgresivas compuestas*. En el subgrupo de las dunas degradadas se identificaron tres tipos: *dunas costeras forestadas*, *forestadas y fragmentada*, y *arrasadas*.

Las *dunas costeras incipientes* se desarrollan en sectores de baja incidencia de la actividad antrópica y gran extensión de playa distal (Punta Médanos, Punta Rasa, etc.), donde la depositación de arena inicial se

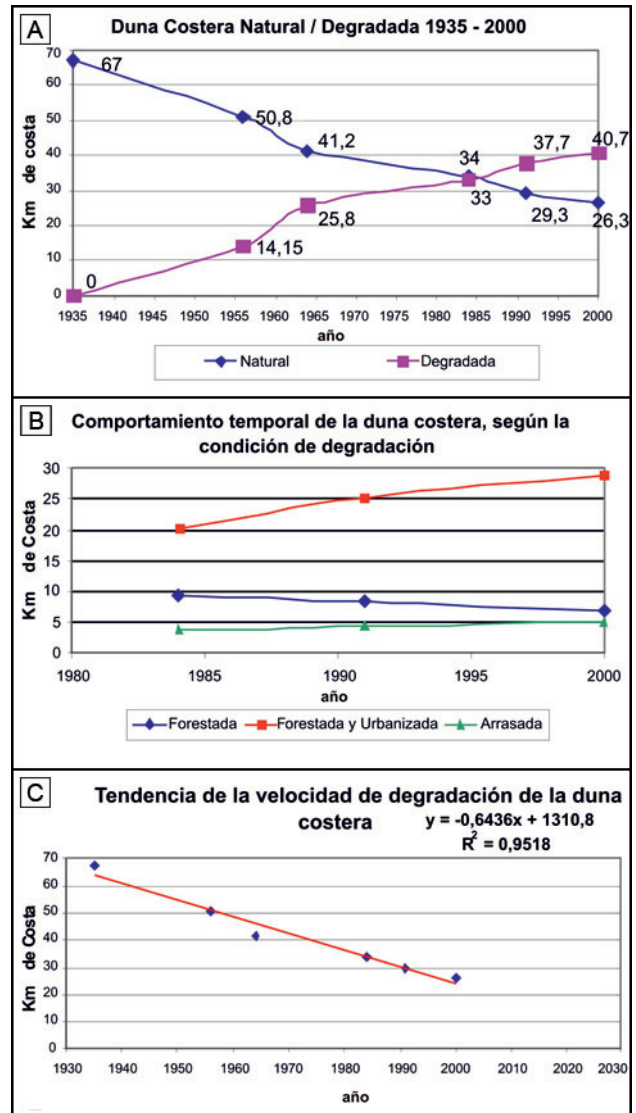


Figura 6. A. Relación temporal entre el cordón de dunas en condiciones naturales y degradado. B. Relación temporal entre los distintos tipos de degradación de la duna costera. C. Tendencia de la velocidad de degradación de la duna costera. Figure 6. A. Temporal relationship between the dunes belt in natural and degraded conditions. B. Temporal relationship between the different types of degradation of the coastal dune. C. Degradation speed trend of the coastal dune.

genera por el obstáculo que conforman las plantas de *Sporobolus coarctatus* y *Panicum racemosum*. Estos depósitos están expuestos a la acción de las tormentas, lo que infiere condiciones de alta vulnerabilidad. Por el contrario, el desarrollo y dinámica de las dunas costeras *transgresivas simples* o *compuestas*, no está condicionado por los factores bióticos, sino que prevalecen los factores físicos relacionados con los vientos, humedad y disponibilidad de sedimentos.

Estas condiciones le otorgan menor vulnerabilidad al sector de costa, donde se mantiene el equilibrio dinámico entre la playa y la duna costera.

La degradación del cordón de dunas costeras está vinculada con las actividades de fijación iniciadas en la década del treinta, y posteriormente con la ocupación y el trazado de avenidas costaneras y perpendiculares a la costa. Estas acciones sumadas a la extracción de arena de playa y duna representan las principales causas de erosión de playa y retroceso de la línea de costa en el Cabo San Antonio.

Entre los años 1935 y 2000 se degradó el 61% de las dunas costeras a una velocidad promedio de 0,65 km/a (considerando el frente costero). De mantenerse esta tendencia, para el 2030 no existirían sectores relativamente importantes del cordón de dunas costeras naturales, quedando restringidos a las inmediaciones de Punta Médanos y Punta Rasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bértola, G.R. y L. Cortizo, 2005. Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60:74-184.
- Braccacini, O.I., 1972. Cuenca del Salado. *Geología Regional Argentina*, Academia Regional de Ciencias de Córdoba, 407-417.
- Bressolier, C. y Y. Thomas, 1977. Studies on wind and plant interactions on French Atlantic coastal dunes. *Journal of Sedimentology Petrology* 47:331-338.
- Carretero, S., F. Braga, E. Kruse y L. Tosi, 2014. Temporal analysis of the changes in the sand-dune barrier in the Buenos Aires Province, Argentina, and their relationships with the water resources. *Applied Geography* 54:169-181.
- Carter, R.W.G., 1993. *Coastal environments*. Academia Press, London, 609p.
- Carter, R.W.G. y P. Wilson, 1990. The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan Point, Northern Ireland. En K.F. Nordstrom, N.P. Psuty y R.W.G. Carter (Eds.), *Coastal Dunes: Form and Process*. John Wiley, Chichester:129-158.
- Cooper, W.S., 1967. Coastal dunes of California. *Geological Society American Memorial* 104:1-131.
- Cowles, H.C., 1898. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. *Botanical Gazette* 27:97-117.
- Davies, J.L., 1964. Morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie* 8:127-142.
- Davies, J.L., 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*, Longman, London, 204 pp.
- Goldsmith, V., 1989. Coastal sand dunes as geomorphological systems. En C.H. Gimingham, W. Ritchie, B.B. Willetts y A.J. Willis (Eds.), *Coastal Sand Dunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 96B:3-15.
- Gripp, K., 1968. Zur jüngsten Erdgeschichte von Hornum/Sylt und Amrum mit einer Übersicht über die Entstehung der Dünen in Nordfriesland. *Die Küste* 16:76-117.
- Hesp, P.A., 1984. Fore-dune formation in Southeast Australia. En B.G. Thom (Ed.), *Coastal Geomorphology in Australia*. Academic Press, Sydney:69-97.
- Hesp, P.A., 1988. Fore-dune morphology, dynamics and structures. *Journal Sedimentary. Geological*. Special Issue: Aeolian Sediments 55:17-41.
- Hesp, P.A., 2002. Fore-dunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48:245-268.
- Isla, F., G. Bértola, M. Farenga, S. Serra y L. Cortizo, 1998. Villa Gesell: un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 5:41-51.
- Law, M.N. y R.G.D. Davidson-Arnott, 1990. Seasonal controls on aeolian processes on the beach and fore-dune. En R.G.D Davidson-Arnott (Ed.), *Proceedings of the Symposium on Coastal Sand Dunes*. National Research Council of Canada, Ottawa:49-67.
- López R.A., 2010. *Geología y Dinámica costera del Cabo San Antonio*, Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 367 pp. (inédito).
- López, R.A. y S.C. Marcomini, 2011. *Problemática de los Ambientes Costeros, Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*. Editorial Croquis, Buenos Aires, 211 pp.
- López R.A. y S.C. Marcomini, 2013. Consequences of anthropic activity in Mar del Tuyú Partido de La Costa, Buenos Aires, Argentine. *Ocean and Coastal Management*, 77:73-79
- Marcomini, S.C., 2002. *Morfodinámica, sedimentología, geomorfología ambiental y sus alteraciones antropogénicas en costas de dunas del noreste de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral, inédita, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 338 pp. (inédito).
- Marcomini, S.C. y R.A. López, 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 4:79-96.
- Marcomini, S.C. y R.A. López, 2010. Erosión y manejo costero en Las Toninas, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66:490-498.
- Marcomini, S.C., R.A. López, N. Madanes, P. Picca y L. Bertolin, 2009. Geoformas y vegetación en La Reserva del Faro Querandí, Provincia De Buenos Aires. *V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário y II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur* Actas:139-148, Córdoba.
- Marcomini, S.C., R.A. López, N. Madanes, P. Picca y L. Bertolin, 2011. Cambios en la vegetación en costas de dunas y su influencia en el balance sedimentario. En R.A. López y S.C. Marcomini (Eds.), *Problemática de los Ambientes Costeros, Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*. Croquis, Buenos Aires:193-205.
- Masselink, G. y A.D. Short, 1993. The influence of tide range on beach morphodynamics: a conceptual model. *Journal of Coastal Research* 9:785-800.
- Mazzoni, M.M., 1977. Minerales pesados en una playa lacustre. II: caracteres texturales. *Revista Asociación Argentina Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 8:1-17.
- Mazzoni, M.M. y L.A. Spalletti, 1980. Características sedimentológicas de playas en erosión y acreción. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35:55-363.
- Naun, M.A., 2009. *The Biology of Coastal Sand Dunes*, Oxford University Press, Oxford, 265 pp.
- Nordstrom, K.F., 1994. Beaches and dunes of human-altered coasts. *Progress in Physical Geography* 18:497-516.

- Nordstrom, K.F., L. Nancy, N. L. Jackson, J. M. Hartman y M. Wong.** 2007. Aeolian sediment transport on a human-altered foredune. *Earth Surf. Process and Landforms* 32:102-115
- Olson, J.S.**, 1958. Lake Michigan dune development 1. Wind-velocity profiles. *Journal of Geology* 66:254-263.
- Parker, G.**, 1979. Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, pcia. de Bs. As. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34:167-183.
- Perillo, G.M.E., E.A. Gómez, S. Aliotta y D.E. Galíndez.** 1985. Granus: un programa FORTRAN para el análisis estadístico y gráfico de muestras de sedimentos. *Revista Asociación Argentina Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 16:1-5.
- Pye, K.**, 1990. Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersy estuaries, northwest England. En K.F. Nordstrom, N.P. Psuty y R.W.G. Carter (Eds.), *Coastal Dunes Form and Process*. Wiley, London:339-359.
- Ranwell, D.S.**, 1972. *Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes*. Chapman & Hall, London, 258 pp.
- Servicio de Hidrografía Naval.** 2001. *Tabla de marea*. Publicación H-601. Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, 599 pp.
- Spalletti, L.A.**, 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. *Asociación Geológica Argentina*. Serie B, didáctica y complementaria, 175 pp.
- Spalletti, L.A. y M.M. Mazzoni.** 1979. Caracteres granulométricos de arena de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34:12-30.
- Teruggi, M.**, 1957. The nature and origin of Argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27:322-332
- Veron, M.J. y G.R. Bertola.** 2014. Aplicación de un método de flujo de energía en el litoral de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 21:17-23
- Violante, R.A., G. Parker, J.L. Cavallotto y S. Marcolini.** 1992. La Secuencia Depositacional del Holoceno en el "Río" de la Plata y plataforma del noreste bonaerense. *IV Reunión Argentina de Sedimentología Actas* 1:275-282, La Plata.
- Violante, R.A., G. Parker y J.L. Cavallotto.** 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56:51-66.
- Visher, G.S.**, 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* 39:1074-1106.
- Urien, C.M. y J.J. Zambrano.** 1974. The geology of the Basins in the Argentine Continental Margin and Malvinas Plateau. En A.E.M. Nairn y F.G. Stelhi (Eds.), *The Oceans Basins & Margins*. Plenum Publishing Co., Nueva York:135-170.
- Zenkovich, V.P.**, 1967. *Processes of Coastal Development*. Oliver and Boyd, London, 738 pp.