

PLAYAS DE BOLSILLO EN MAR CHIQUITA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Germán R. BÉRTOLA¹, Alejandra MERLOTTO¹, Luis CORTIZO² y Federico I. ISLA¹

¹CONICET (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras) e Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP), email: gbertola@mdp.edu.ar

²CIC, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP) CC 722 - (7600) Mar del Plata, Argentina

RESUMEN

La costa norte de General Pueyrredon y sur de Mar Chiquita (Buenos Aires) está constituida por playas de bolsillo, desarrolladas entre cabos rocosos o entre espigones. Su dinámica mayormente erosiva está condicionada a fenómenos naturales episódicos (tormentas sudestadas) y a acciones antrópicas derivadas del drenaje de excesos hídricos o las alteraciones estacionales que hacen los concesionarios de balnearios. En los últimos años estas playas han sido objeto de desbalances originados por sucesivas obstrucciones de la deriva litoral originadas por campos de espigones y la reciente construcción de escolleras, requeridas para el tendido del emisario cloacal de Mar del Plata. Los efectos de la erosión exceden los sectores urbanizados al punto que se han estimado retrocesos de las escarpas de médano superiores a 1 m/año al norte de Mar Chiquita. Con el objeto de analizar los impactos (naturales y antrópicos) en relación a la dinámica de estas playas de bolsillo, se ejecutaron perfiles en 6 playas del litoral durante los intervalos 2004-2005 y 2009-2011. De la comparación de fotografías aéreas e imágenes modernas se pudo reconocer la magnitud de la erosión costera según los intervalos 1957-1987 y 1987-2000. Los espigones han logrado disminuir efectos erosivos hacia el sur de Santa Clara, pero se han incrementado hacia el norte. Los perfiles permitieron evaluar la magnitud de las variaciones estacionales en cada playa, y los balances negativos dominantes para las de Santa Clara, Camet Norte y Parque Mar Chiquita. Los relevamientos con sonar de barrido lateral de 2009 confirmaron la distribución de formas erosivas en Camet y dorsales de arena al norte de Mar Chiquita. Este tipo de monitoreo de los sectores intermareales y submareales resultan necesarios al momento de decidir técnicas de preservación o alimentación artificial de playas.

Palabras clave: *Erosión, acantilados, playas, deriva litoral*

ABSTRACT

Pocket beaches in Mar Chiquita, Buenos Aires province

The northern coast of General Pueyrredon and south of Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina) are pocket beaches, developed between rocky capes or among breakwaters. Its dynamics is determined mainly erosive episodic natural phenomena (sudestadas) and human actions resulting from drainage of excess water or seasonal alterations that make Spa dealers. In recent years, these beaches have been successive imbalances caused by obstruction of the littoral drift fields caused by the recent construction of jetties and breakwaters, required for laying sewage outfall of Mar del Plata City. The effects of erosion exceed urbanized areas to the extent that setbacks were estimated dune scarps greater than 1 m / year north of Mar Chiquita. In order to delimit impacts, we made profiles in 6 beaches of this coast during the intervals 2004-2005 and 2009-2011. A comparison of aerial photographs and modern images could recognize the extent of coastal erosion at the intervals 1957-1987 and 1987-2000. The breakwaters have reduced erosive effects to the south of Santa Clara, but have increased to the north. The profiles have been able to assess the magnitude of seasonal variations on each beach, and the dominant negative balances for Santa Clara, Camet Norte and Parque Mar Chiquita. The surveys with sidescan sonar in 2009, confirmed the distribution of erosive forms in Camet and sand ridges north of Mar Chiquita. This type of monitoring of intertidal and subtidal areas are necessary when deciding techniques of preservation or beach nourishment.

Keywords: *Erosion, cliffs, beaches, littoral drift*

INTRODUCCIÓN

Las costas del mundo están sufriendo problemas de erosión, derivados de causas

naturales pero agravadas por efectos inducidos por el hombre. En muchos casos, los ritmos de erosión se han incrementado como consecuencia de obras de defensa

sobredimensionadas o mal planificadas (Pranzini y Farell 2006; León y Tavares Correa 2006; Farinnaccio *et al.* 2009; Castro *et al.* 2011; Mohanty *et al.* 2012).

La erosión costera es un fenómeno natural que se manifiesta como un problema ambiental de gran importancia debido a las implicancias socio-económicas que genera en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Específicamente, en las costas del área de estudio, el partido de Mar Chiquita, existen dos morfologías evidentes con diferente vulnerabilidad a la erosión. Al norte de la boca de la laguna costera se extienden playas bajas, arenosas, con grandes campos de médanos (Fig. 1). En cambio hacia el sur, se desarrollan playas de bolsillo ubicadas entre acantilados compuestos por limos y sedimentos eólicos (Schnack y Gardenal 1979).

Las playas de Mar Chiquita y Mar de Cobo eran originalmente abiertas. Las obras de defensa (espigones, escolleras, pedraplenes, *rip raps*) practicados en los últimos años, han originado playas de bolsillo adosadas a los acantilados. Estos últimos aumentan sus alturas hacia el sur y su conformación es rela-

tivamente moderna, ya que se han formado con posterioridad a la fluctuación holocena del nivel del mar (Fasano *et al.* 1982).

La costa entre Mar del Plata y Mar Chiquita se caracteriza por acantilados labrados en limos entoscados que poseen alturas aproximadas de 8 m en Camet, 6 m en Santa Clara, 3 m en Camet Norte y apenas 1 m en Mar de Cobo (Fig. 1). Entre estos acantilados existen acumulaciones arenosas que se hacen más extensas hacia el norte. Las playas arenosas bonaerenses fueron caracterizadas granulométrica y mineralógicamente con reconocimiento de variaciones texturales transversales (desde médanos a la playa frontal) y a lo largo de la costa (Teruggi 1959; Spalletti y Mazzoni 1979). Por efecto de atrición de la deriva litoral, la granulometría disminuye de sur a norte (Isla *et al.* 1998). Al mismo tiempo, existe un incremento en el tamaño de grano y del desvío estándar hacia el mar. Ciertas anor-

malidades texturales de carácter local fueron explicadas posteriormente por efectos de canibalización de barreras o lagunas costeras (Isla 1997b). Longitudinalmente, todos los ambientes tenían arenas semejantes, con una disminución de sus diámetros de sur a norte y un aumento en su selección (Isla 1997b). En cuanto a la mineralogía, los cambios regionales eran más notables sobre todo en lo referente a minerales pesados Spalletti y Mazzoni, 1979; Schnack *et al.* 1982; Fasano *et al.* 1982) realizaron análisis evolutivos y estratigráficos de la región al norte de Mar Chiquita, encontrando una sucesión de espigas que hacia el sur cerraron una gran bahía y la colmaron, hasta dejar actualmente una laguna costera. Violante y Parker (1992) describieron detalladamente la estratigrafía de la zona entre Villa Gesell y el Faro Querandí. Su análisis evolutivo idealiza un paleocabo en Villa Gesell causante de una antigua divergencia

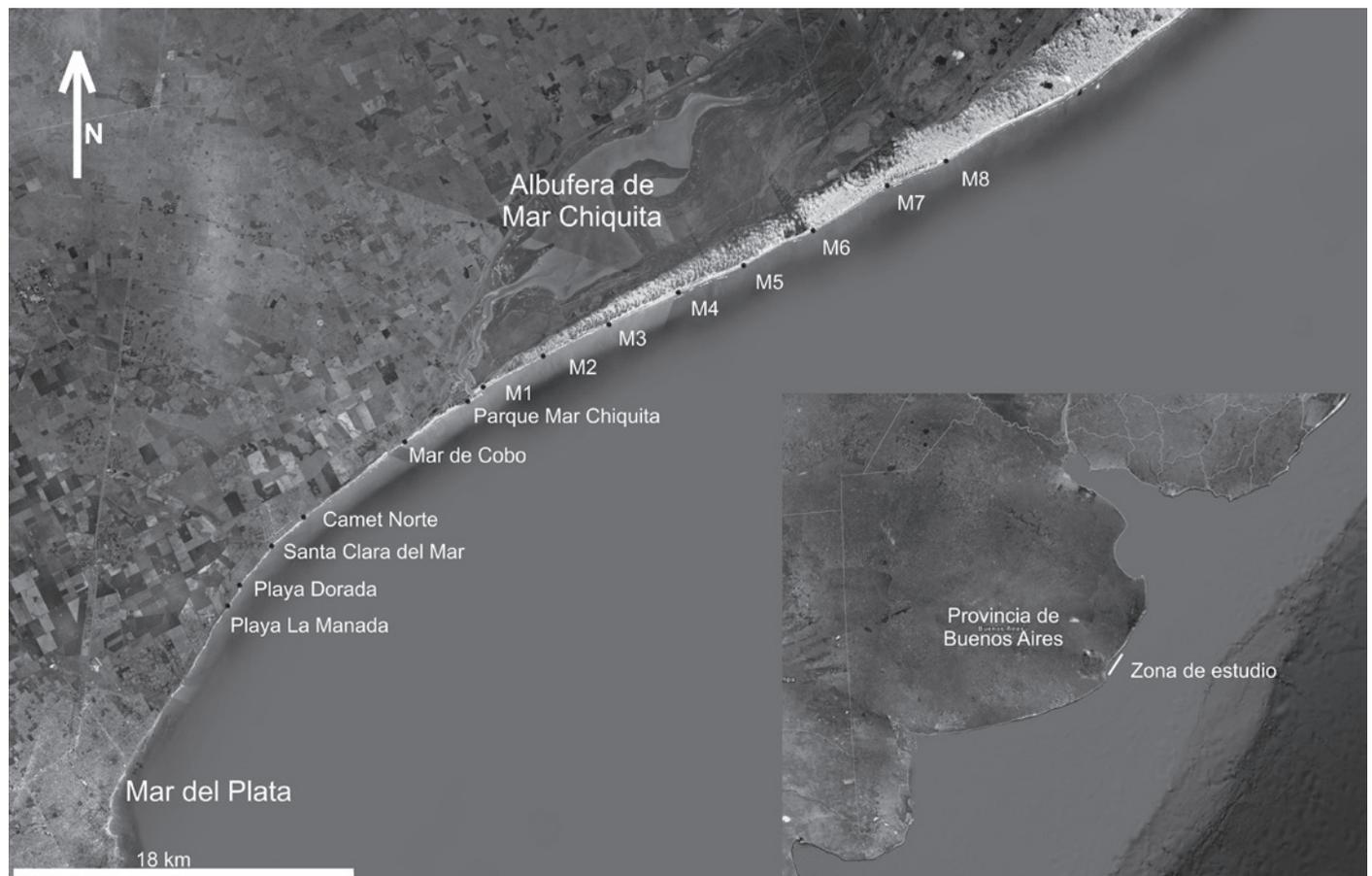


Figura 1: mapa de localización de las playas y muestreos relevados.

de las corrientes litorales hacia el sur y hacia el norte, actualmente no operativa.

Si bien se han realizado trabajos detallados en el este bonaerense vinculando la erosión costera con las actividades humanas y problemas ambientales asociados (Dadón *et al.* 2002; Isla y Villar 1992; Isla *et al.* 1998; Juárez e Isla 1999; Marcomini y López 1997), sus consecuencias socio-económicas han sido escasamente estudiadas. Los trabajos al respecto han evaluado aspectos como la depreciación en el valor de la tierra por la reducción de playas (Juárez *et al.* 2001) o el deterioro causado por las tormentas (Isla 1995).

A partir del avance de las ciudades sobre estas áreas y del desarrollo de las actividades económicas, ya sean industriales, portuarias y/o turísticas, los recursos costeros son sometidos a una explotación continua. A medida que los cambios en el medio natural se van produciendo, se ve limitada su capacidad de respuesta alterándose el equilibrio preexistente. Las acciones del hombre que provocan procesos erosivos son numerosas y entre ellas se ha considerado a la urbanización y la excesiva fijación de médanos frontales (Bertoncello 1992; Isla *et al.* 1998; Juárez e Isla 1999), la extracción de arena (Schnack *et al.* 1983; Isla y Fasano 1987) y la construcción de defensas costeras (Isla 2006). Asimismo, se han identificado a las tormentas sudestadas como uno de los principales factores naturales de erosión (Isla 1990). Históricamente se ha registrado en el partido de Mar Chiquita un retroceso de la línea de costa de hasta 5 m/año (Isla *et al.* 1997a; Merlotto y Bértola, 2009). Hacia el sur en el Partido de General Pueyrredon, durante el siglo XX la tasa de erosión costera fue de 1 a 6 m/año para los acantilados al norte del casco urbano de Mar del Plata y de 0,2 a 5 m/año para la zona acantilada del sur (Schnack *et al.* 1983). De acuerdo a mediciones recientes, estas tasas están, en general, aumentando. Sólo disminuyen en sectores donde se han practicado obras perpendiculares a la deriva litoral (Merlotto y Bértola 2009).

El presente trabajo constituye una actualización de los ritmos de retroceso de los acantilados y de las modificaciones de las playas. Se destaca que los resultados no se limitan a la comparación de un perfil de verano con uno de invierno en una playa

única que representaría a toda una región. Por el contrario, los trabajos comprenden repetidos perfiles durante varios años en varias playas. De este modo, los trabajos dan una idea acabada de los procesos naturales que tienen lugar, su significado respecto a la costa en tratamiento y reconociendo eventuales trabajos de remoción de arena que se realizan con relación a la temporada estival. Además, se estudió el impacto de dos escolleras construidas recientemente en la dinámica litoral del sector de costa considerada.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA REGIÓN

El sector posee una orientación 30°N, con una pendiente de playa de entre 4 y 11%. El promedio de altura de rompiente de las olas es de 0,7 m (max. 1,4 m) y su período de 6 a 10 s (Bértola 2006). El régimen de mareas es mixto semidiurno con amplitudes promedio de 0,91 m (SHN, 2011). Entre Mar Chiquita y Santa Clara fueron calculados valores de transporte litoral que no superan los 25.000 m³/año, mientras que entre Santa Clara del Mar y Mar del Plata los valores llegarían hasta 200.000 m³/año (Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Obras Sanitarias del Gobierno de los Países Bajos 1997). Dentro del esquema de migración hacia el norte, Fasano *et al.* (1982) y Bértola y Pastorino (1998) mencionan inversiones estacionales hacia el sur, principalmente en verano. Los vientos más frecuentes son del N a 12 km/h y los más intensos son del SE, S y SO (NOAA, 2011). La velocidad de las corrientes litorales son del SO a NE a 0,30 a 0,50 m/s y el poder de ola es de 4,2 Kw/m (Lanfredi *et al.* 1992).

Con relación al transporte de arenas por acción del oleaje, Kokot (2010) observó para Punta Médanos (Fig. 1), que durante los últimos 6.000 años existió (sólo con estabilidad hidrodinámica y climática) una componente neta de olas desde el sur y sudeste, lo que representaría movimientos hacia el norte y noreste a lo largo de la playa. Con relación al proyecto de puerto de aguas profundas de Punta Médanos, Peña y Lanfredi (1988) y Lanfredi *et al.* (1992) realizaron estudios de alturas, períodos y potencia de olas, corrientes litorales y perfiles de playa,

importantes parámetros para cualquier obra de ingeniería en la costa. Basándose en observaciones visuales y datos de olígrafo, se evaluó el transporte de sedimentos hacia el norte que puede variar entre 400.000 y 700.000 m³/año (Framiñan 1987), en tanto que en la zona de trabajo no supera los 200.000 m³/año (Caviglia *et al.*, 1992). Isla (1997b) y Bértola *et al.* (1999) evaluaron las variaciones morfológicas de las playas de Mar Azul, Mar de las Pampas y Villa Gesell (al norte de Mar Chiquita) y de Mar del Plata (al sur del Partido objeto de estudio). Mediante una metodología similar a la aquí empleada, observaron concordancia en cuanto a la presencia de alteraciones antrópicas (extracciones y movimientos de arena), con abruptos cambios naturales en el volumen y perfil de las playas, así como la manifiesta alteración de los perfiles por acción de las tormentas. Las tormentas, que ocasionan olas rompientes de más de 1,5 m de altura, usualmente causan escarpas de berma y segregaciones de minerales pesados en casi todas las playas del sudeste bonaerense (Del Río y Schnack 1985).

Entre Mar Chiquita y Punta Médanos se extiende un campo de dorsales de arena submareales o "sand ridges" conformados por arenas finas, con una orientación de 20° a 45° con respecto a la costa, y conectados a ella en su sección septentrional (Parker *et al.* 1978). La distancia entre crestas es de 4 km con alturas de 5 a 7 m; poseen longitudes de 9 a 30 km y los senos son de 2 km de anchura. La pendiente de sus flancos es de aproximadamente 0,0034°. Su dinámica registra movimientos hacia el norte y este del orden de 22 cm/km². Estos bancos se forman por flujos helicoidales independientes, cuya arena provendría del excedente en el transporte por deriva litoral y del aporte eólico. La incidencia de tormentas originaría concentración de olas en determinados sectores y divergencia de energía en otros, tal cual como sucede en los Outer Banks de Carolina del Norte (Inman y Dolan 1989).

METODOLOGÍA

Se midieron los ritmos de retroceso de acantilados (Camet a Mar de Cobo) y del pie del médano litoral (Mar de Cobo a la

Estancia Mar Chiquita) a través de fotografías aéreas antiguas (1957), fotografías obtenidas del satélite espía Corona KH4 (1965), y fotografías aéreas modernas o imágenes de satélites de resolución espacial superior a los 10 m.

Las tareas de campo consistieron en la ejecución de relevamientos topográficos en las playas cada cuatro meses. Cada relevamiento consistió en la realización de un perfil transversal a la línea de costa, referidos a un punto fijo georeferenciado y hasta una cota de -0,5 m. Para los balances sedimentarios se calcularon las diferencias volumétricas entre perfiles de diferentes relevamientos considerando la longitud del perfil menor, según métodos convencionales (Bértola 2001). Los balances sedimentarios son exclusivamente para los límites en que se tomaron los desniveles y por el largo de la playa. De la superposición de lo relevado, se obtuvieron balances netos de erosión-acumulación en m³. Las playas se describen de sur a norte, en el sentido de la deriva litoral.

Los mapas topográficos no permiten describir detalladamente cambios significativos en las pendientes de las playas. Por ello se recurrió a los perfiles, que son de mayor utilidad para distinguir crestas de berma, dorsales y barras, o inclusive reconocer morfología de la playa. Para obtener la pendiente local en cada perfil se empleó la diferencia entre la cota mayor y la menor, dividido por la longitud del perfil, obteniéndose un valor de pendiente que integra la playa distal y la frontal. Por otro lado, se obtuvo el valor de la pendiente de la playa frontal, midiendo la diferencia de cota entre el último punto medido y la berma de mareas, dividido por la distancia entre ellos.

En el análisis de los balances de playa, se tomó en consideración los promedios de altura y período de ola de los 4 días anteriores al relevamiento (Cuadro 1), así como los datos de altura de ola (Fig. 3). Esta información indicó que los relevamientos no estuvieron afectados por oleaje significativo. La comparación entre valores reales y los tomados por el windgurú, poseen una correlación de hasta un 70% (Verón 2011). De cada perfil se obtuvieron muestras de sedimento superficial (3 cm de profun-

dididad) de las áreas de médano, playa distal y playa frontal, subambientes elegidos por ofrecer información de importancia dinámica. El muestreo de la playa distal da idea del efecto de los aportes eólicos en la playa, así como del alcance que tienen los sobrelavados, ya que es común la existencia de bermas de tormentas. El muestreo de la playa frontal ofrece información sobre la energía de las olas y controla la pendiente del frente de playa. En laboratorio, los sedimentos fueron cuarteados, tamizados cada 0,5 Phi y sus parámetros estadísticos

(Folk y Ward 1957) fueron comparados mediante el software GRADISTAT (Blott y Pye 2001). Atendiendo la falta de información existente, al norte de la boca de la albufera de Mar Chiquita, se realizó un muestreo cada 2 km de los mismos ambientes (29/3/2011).

El efecto de las tormentas se analizó a través de fotografías y reconocimientos de campo con posterioridad a estos eventos, procurando establecer los cambios episódicos y las recuperaciones posteriores. Como muchos de los balnearios sufren movimientos de

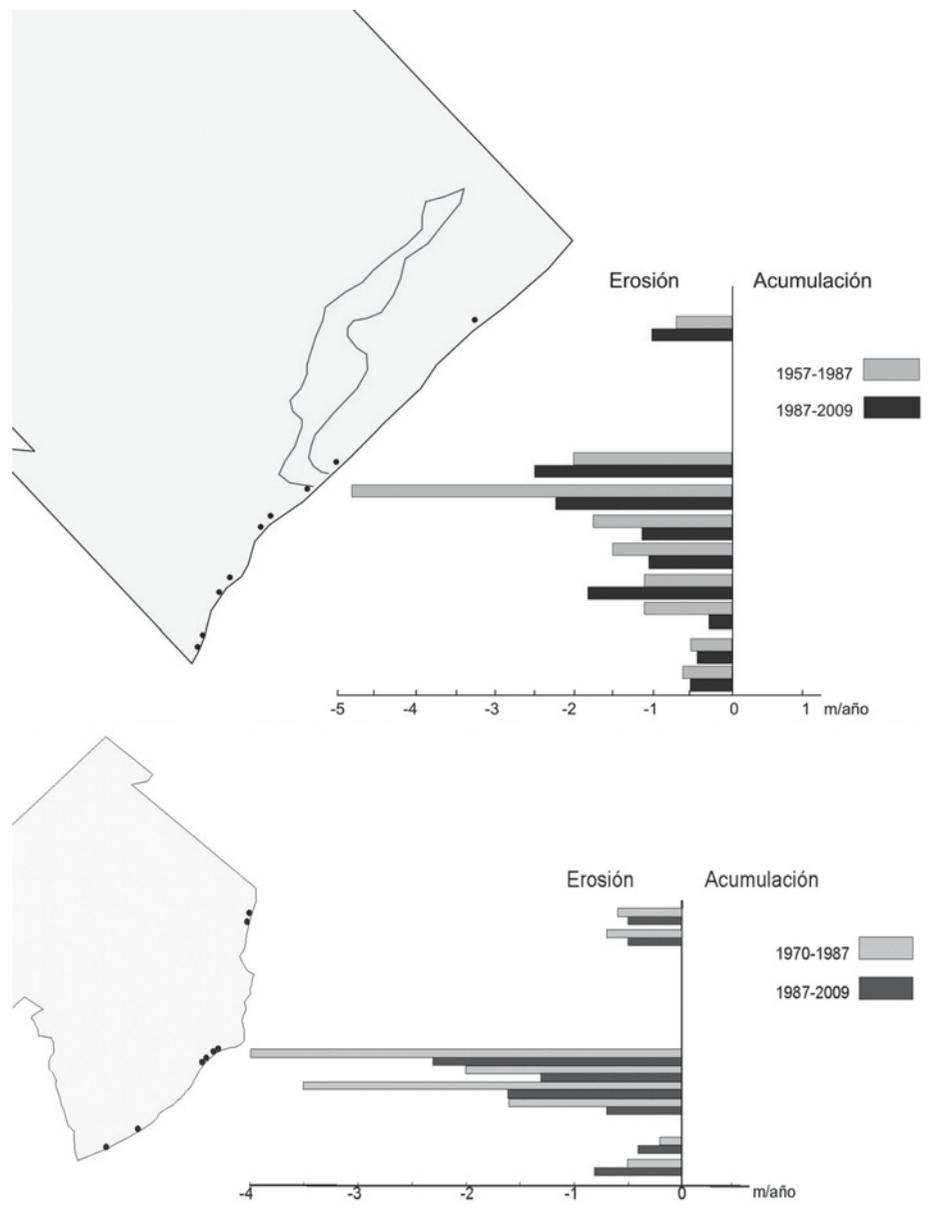


Figura 2: rangos de erosión en los partidos de Mar Chiquita y General Pueyrredón.

arena ejecutados por los concesionarios, se evitaron los relevamientos entre diciembre y febrero.

Para el mapeo de las formas del fondo se utilizó el sonar de barrido lateral marca Klein (422S) con transductor (modelo 350A), cable de 100 m y un registrador EPC (mod.1898), montado sobre un malacate en una lancha guardacostas de la Prefectura Naval Argentina. Se trabajó con un ancho de barrido de 150 m a cada lado del pescador. Para el muestreo de muestras superficiales de fondo se contó con una draga tipo Snapper. A través de un GPS (*Ensign Trimble*) se registraron las posiciones. Las campañas fueron el 22 de octubre del 2009 y el 12 de noviembre de 1985. Para la ubicación de los distintos bancos de arena y su relación entre la profundidad en que se encuentran y el estado de marea, se utilizaron los datos de la marea real del mareógrafo del puerto Mar del Plata. Los datos granulométricos fueron graficados en un Sistema de Información Geográfica en formato vector.

RESULTADOS

a) Ritmos de erosión de acantilados: Las obras de defensa practicadas mediante obstrucción de la deriva litoral han logrado disminuir los ritmos de retroceso de acantilados en General Pueyrredon y sur de Mar Chiquita (Fig. 2). No obstante al norte de la boca de la albufera, los ritmos de erosión de la escarpa de médano se han incrementado.

b) Balances sedimentarios

Playa La Manada: $37^{\circ}52'56.40''S$;
 $57^{\circ}31'2.94''O$.

Esta playa con forma semicircular en planta, está emplazada entre cabos rocosos. A partir del año 2009, disminuyeron los aportes por deriva en esta playa debido a la construcción de dos escolleras (de 120 y 290 m) para la disposición del emisario submarino de Mar del Plata (Fig. 4). Sobre la línea de pleamar se construyó en 1998 un pedraplén a efectos de proteger el acantilado. La pleamar la cubre por completo diariamente, por lo que su perfil es recto y su pendiente abrupta (14%). Hasta el presente ha arrojado balances positivos (Cuadro 1). Los meses de primavera fueron erosivos. Inmediatamente al norte, se construyó en el año 2008 un *rip rap* para la protección del acantilado que alcanza los 6,2 m de altura.

Barrio Playa Dorada: $37^{\circ}52'15.05''S$;
 $57^{\circ}30'54.18''O$.

Esta playa está emplazada entre cabos rocosos y tiene una superficie semicircular. Junto al acantilado (de 4 m) se localiza un balneario que anualmente alisa el perfil de la playa para uso turístico y que en su base ha colocado piedras para su protección. Presenta pendientes abruptas (9%) y hasta el presente, ha arrojado balances positivos. Sus variaciones no se correlacionan con los fenómenos estacionales.

Santa Clara del Mar: $37^{\circ}50'50.45''S$;
 $57^{\circ}30'16.74''O$.

Está emplazada entre un cabo rocoso y un campo de espigones (construido en 1983). Posee forma rectangular en planta y por su berma discurre normalmente el arroyo Santa Elena el cual sirve de desagüe de excesos hídricos. La playa presenta una escarpa de erosión que ha alcanzado hasta 1,5 m. Hasta el presente ha arrojado balances negativos. Los meses de primavera fueron los más erosivos. La pendiente de la berma es de 6%. Los perfiles fueron muy irregulares con el área con mayor variabilidad emplazada entre los 15 y 50 m. Inmediatamente al sur del perfil, hay acantilados de 3,5 m.

Camet Norte: $37^{\circ}49'43.37''S$; $57^{\circ}29'32.26''O$

Está emplazada entre un cabo rocoso y un espigón (construido en 1983). Hasta el presente ha arrojado balances negativos y sus variaciones no coinciden con fenómenos estacionales. La berma ha permanecido estable a lo largo de los relevamientos y es la playa de mayor ancho entre las estudiadas. El área con mayor variabilidad está emplazada entre los 40 y 70 m. Su pendiente es de 3,7% y posee una morfología regular. Se emplaza al pie de un acantilado de más de 3 m, por lo que no hay médanos y su relieve hace que el 100% del perfil pertenezca a la playa frontal, ya que diariamente el agua llega al pie del acantilado.

Mar de Cobo: $37^{\circ}46'38.12''S$;
 $57^{\circ}26'56.54''O$

Esta playa está emplazada entre espigones (construidos en 1991). Hasta el presente ha arrojado balances positivos. Pero a fines

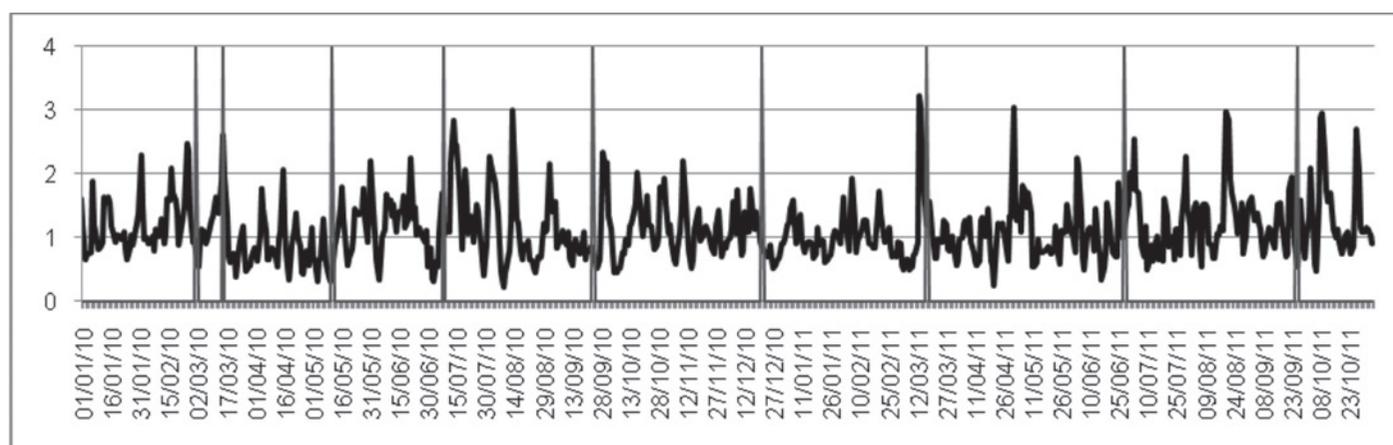


Figura 3: variaciones de altura de ola (m) y relevamientos (en líneas verticales). Fuente: <http://www.windguru.cz/es/index.php?sc=3640> (NOAA, 2011).

del 2010 hubo una importante erosión que dejó abruptas escarpas y descubrió parte del acantilado que está por debajo del médano. Esta importante erosión fue rápidamente recuperada a mediados del 2011. Las variaciones no coinciden con la estaciones. Su perfil es cóncavo y el área con mayor variabilidad está emplazada entre los 40 a 70 m. Su pendiente es del 8%. Posee un médano degradado desarrollado sobre el acantilado, que varió entre 2,3 a 5,3 m de altura mientras duró el presente estudio.

*Parque Mar Chiquita: 37°44'52.71"S;
57°25'15.86"O*

Esta playa está limitada por 2 espigones emplazados en 1991. Desde mayo del 2010 el espigón del sur fue extraído y con sus rocas se realizó un pedraplén entre la playa distal y el médano. Su perfil es cóncavo y el área con mayor variabilidad está emplazada entre los 30 y 60 m. Hasta el presente ha arrojado balances negativos, excepto durante

el 2010. Los meses de primavera y verano fueron los más erosivos. Su pendiente es de 4%. Su longitud supera los 75 m. En su inicio posee un médano sumamente degradado de casi 6 m de altura, donde muchas propiedades han construido accesos, patios y quinchos. Un 90% del perfil está ocupado por la playa frontal, dejando muy pocos metros de playa libre para el uso recreativo. Entre los perfiles se aprecia una importante variabilidad en relación con sus longitudes a lo largo de los años de relevamiento, indicando una compleja dinámica, sobre todo, en las playas entre espigones. Se han dado casos en que una playa de perfil corto y reflectivo daba saldos aparentemente erosivos en los sectores supralitorales debido a procesos de erosión de su berma, aunque con abundante acumulación en los sectores sublitorales. En general son playas reflectivas en el sur y pasan a intermedias hacia el norte. El balance promedio a lo largo de los años de relevamiento muestra acumu-

lación en el sur del área estudiada y erosión hacia el norte. Si bien han existido varios episodios tormentosos de magnitud, el del 24/02/2010 y los de fines del 2010 (con una serie de 4 tormentas seguidas) causaron seria erosión en 5 de las 6 playas analizadas. En general las playas del sur, si bien poseen balances positivos, después de las tormentas poseen una recuperación más lenta debido a un escaso aporte por deriva. Las playas del norte poseen una recuperación más rápida post-tormenta.

c) Granulometría de playas

Playa Distal: las mayores granulometrías se registraron en Playa Dorada y Santa Clara del Mar, en tanto que las más finas en Mar Chiquita y Camet Norte. La distribución a lo largo del tiempo indica una mayor variabilidad granulométrica durante los primeros relevamientos, para posteriormente al año 2011, irse uniformizando en arenas medianas. En relación con el desvío estándar, las muestras peor seleccionadas han sido las de Playa Dorada, Mar de Cobo y Santa Clara. La mejor selección es la de Camet Norte. A lo largo del tiempo las muestras han mantenido su selección constante hasta el 2011, con un aumento de variabilidad. La selección siempre fue buena a media. La asimetría tuvo un comportamiento muy variable a lo largo de los relevamientos, para uniformizarse en los muestreos del 2011. La más positiva fue la de Mar Chiquita.

Playa Frontal: las granulometrías mayores fueron las de Santa Clara del Mar y las arenas más finas son las de Mar Chiquita. Lo mismo que en las muestras de playa distal la variabilidad entre granos, que fue constante hasta el 2010, comenzó a aumentar a partir de dicho año. En relación al desvío estándar, la playa de La Manada y Santa Clara del Mar son las que tuvieron sus arenas peor seleccionadas, en tanto que Mar Chiquita tuvo la mejor selección. La playa La Manada ha tenido las mayores variabilidades, así como la de Santa Clara del Mar. Esta última ha pasado en el año 2011 a una selección muy pobre. La asimetría fue simétrica a negativa. Si bien se ha observado una marcada variabilidad, los muestreos de fin del 2010 y principios del 2011 mostraron una asimetría menos variable entre las playas relevadas.

CUADRO 1: balances sedimentarios de las playas relevadas (m³) y otros parámetros medidos.

	Playa La Manada	Barrio Playa Dorada	Santa Clara del Mar	Camet Norte	Mar de Cobo	Parque Mar Chiquita	
Balances sedimentarios	01/12/04-18/10/04	-2,16	s/d	-49,97	s/d	s/d	s/d
	11/03/05-01/12/04	5,54	s/d	-55,4	s/d	s/d	s/d
	15/12/05-11/03/05	14,61	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
	29/09/09-15/12/05	-4,39	s/d	-9,24	s/d	s/d	s/d
	01/03/10-29/09/09	-6,16	-33,38	-4,71	2,22	-13,67	-28,61
	15/03/10-01/03/10	s/d	s/d	s/d	-3,13	57,04	7,54
	11/05/10-15/03/10	-1,36	10,82	28,43	15,85	s/d	0,71
	08/07/10-11/05/10	8,7	41,46	-42,34	-37,28	48,96	9,18
	24/09/10-08/07/10	-8,04	-25,92	52,43	35,71	-48,96	7,68
	21/12/10-24/09/10	-0,3	4,9	-22,17	-19,88	-34,81	-24,3
	17/03/11-21/12/10	9,04	9,02	-2,14	46,08	-20,87	-13,58
	28/06/11-17/03/11	-3,61	11,5	-9,04	-20,26	56,36	17,78
	26/09/11-28/06/11	2,12	-10,11	26,51	-24,98	-5,69	5,46
	TOTAL	13,98	8,3	-87,65	-5,66	44,04	-18,14
PROMEDIO	1,17	1,04	-7,97	-0,63	6,29	-2,02	
Área aprox (has)	0,2	0,7	0,7	0,8	1	1,2	
Orientación (°N)	18	12	22	28	40	36	
Longitud promedio y máximo (m)	13 (20)	58 (75)	68 (85)	87 (130)	85 (115)	78 (110)	
Límites	Cabos rocosos	Cabos rocosos	Cabo rocoso y espigón	Cabo rocoso y espigón	Entre espigones	Entre espigones	
Pendiente Total (%)	14	9,2	6,4	3,7	8,9	4,8	
Pendiente Playa Frontal (%)	14	6,4	8,2	3,4	5	3,6	

Parámetros estadísticos en el médano de Mar de Cobo: La muestra del médano de Mar de Cobo aumentó su granulometría de arena fina en el 2009 a arena mediana en 2010. El desvío estándar pasó de bueno a moderadamente seleccionado, y la muestra pasó de ser simétrica, a poseer una asimetría positiva.

Parámetros estadísticos en muestras al norte de la Boca de la albufera de Mar Chiquita (Fig. 5): los valores de media varían, en los tres subambientes muestreados, de arena fina a mediana. Las arenas de la playa distal fueron las más gruesas. De sur a norte los tres subambientes van aumentando el tamaño granulométrico, así como su desvío estándar que en general es moderadamente bien seleccionado. La asimetría fue simétrica (playa distal) a negativa (playa frontal). Las arenas recolectadas cerca de la boca de la albufera de Mar Chiquita poseyeron granulometrías más finas que las más alejadas, un desvío estándar menor y una asimetría con sesgo de material fino. La playa frontal comienza siendo más fina que la arena de la playa distal y pasa finalmente a ser el subambiente más grueso en el muestreo más alejado de la misma.

Pendientes Regionales

Especialmente, se aprecian mayores pendientes en las playas del sur que en las del norte y en general, hay un aumento de la pendiente de todas las playas en el tiempo. Esto no se corresponde con las pendientes de la cara de playa, que si bien poseen variaciones, a lo largo del tiempo se han mantenido constantes en todos los relevamientos.

Mapeo y muestreo de la playa infralitoral

El relevamiento de octubre de 2009 con sonar de barrido lateral logró un mapa complementario de las formas de fondo relevadas en 1985 y 1996 (Isla y Aliotta 1999). Se confirmó la presencia de fajas de arena y sustratos rocosos en las vecindades de Camet (Fig. 6). Se pudo distinguir la presencia de fajas con óndulas en los senos desde Santa Clara al norte de Camet Norte. Hacia el norte y este de la boca de Mar Chiquita se confirmó la presencia de dorsales de arena, en cuyos senos se registraron

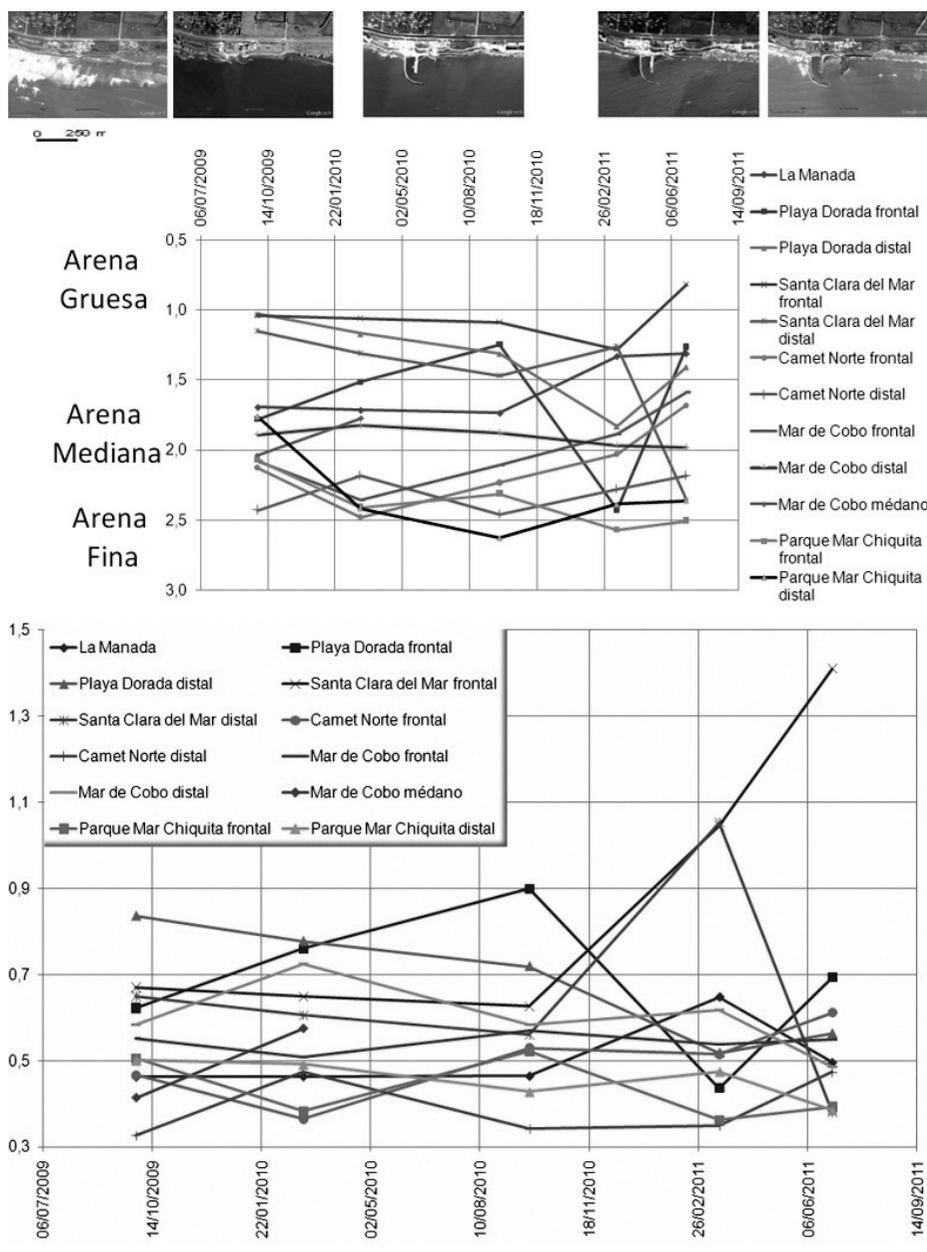


Figura 4: a) valores de tamaño medio de grano (media) de las playas relevadas a través del tiempo en unidades Phi. Las fotografías indican temporalmente la construcción de dos espigones 5 km al sur de la playa La Manada; b) valores del desvío estándar de las playas relevadas.

fajas con óndulas o campos de óndulas. En esa oportunidad se obtuvieron muestras a profundidades entre 8 y 11 m. Las muestras obtenidas en Camet, Mar Chiquita y CELPA fueron arenas medianas de selección moderada, mientras que las obtenidas frente a Santa Clara fueron arenas finas pobremente seleccionadas. Frente al sector de Camet -donde se está construyendo el emisario submarino- y a 7,8 m de profundidad, se muestreó una arena muy

gruesa de pobre selección. Estos datos fueron a aumentar la base de datos georeferenciada de todos los análisis efectuados por el IGCC en la zona. No es posible reconocer tendencias en la distribución granulométrica. En muchos casos las granulometrías finas se dan en los toques de las formas de fondo (dorsales y fajas) y las granulometrías gruesas abundan hacia los senos o laderas de las formas mayores. A lo largo de esta costa, la batimetría cam-

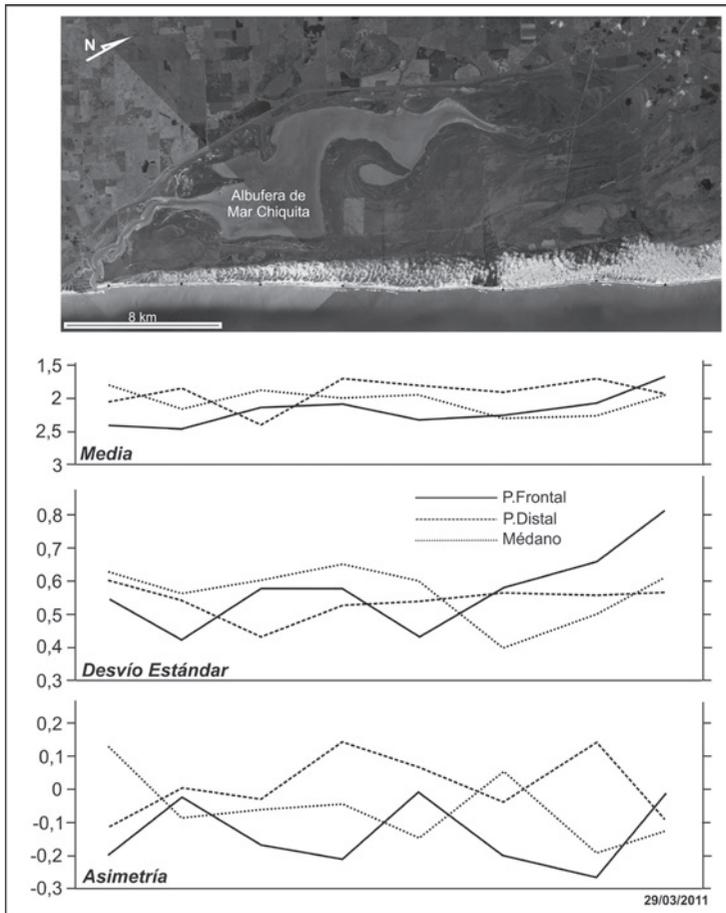


Figura 5: parámetros granulométricos de las playas al Norte de la boca de la albufera de Mar Chiquita (29/3/2011).

bia significativamente en el paralelo 38°S. Hacia el norte, las isobatas están espaciadas equidistantemente entre sí, son paralelas a la costa y el relieve mar afuera posee una pendiente de 0,109%. Al sur de esa latitud hasta los 20 m de profundidad responden a las características de la zona norte, pero a partir de los 30 m se disponen oblicuas a la línea de costa y el relieve tiene una pendiente de 0,218%. Esto induce notables cambios en la dirección de las crestas de ola (Bértola *et al.* 1999).

DISCUSIÓN

Esta transición de acantilados a barreras arenosas es común en costas templadas dominadas por deriva litoral. La costa dorada de Australia (Gold Coast) se caracteriza por escarpas de dunas pleistocenas cuya erosión alimenta espigas hacia el norte (Chapman 1981). Del mismo modo, la

erosión de la costa de Delaware alimenta la espiga del Cabo Henlopen (Kraft y Allen 1976). Esto también ocurre en la transición entre High Island y Sabine Pass, Texas (Park y Edge 2011). En algunos sectores, viejos cordones litorales truncados dan testimonio de estos efectos de canibalización que ocurrieron durante el Holoceno tardío (Martin y Suguio 1992; Isla 1997b; Isla y Bujalesky 2000)

El método empleado hasta el presente para analizar los balances sedimentarios de playas, ha demostrado su eficiencia para su caracterización morfológica. Se han observado casos en los que una playa de perfil corto y reflectivo dio saldos aparentemente erosivos en los sectores supralitorales (erosión en la berma), aunque con abundante acumulación en los sectores sublitorales, resultando por lo tanto, en balances estables. Las playas de bolsillo -o entre espigones- tienen movimientos hidrodinámicos en

celdas con marcada diferencia entre perfiles de relevamientos sucesivos e inclusive con transporte neto de sedimentos en sentido contrario a lo esperado en la literatura (Bértola y Pastorino 1998). Hubo períodos durante los cuales en relativamente poco tiempo se manifestaron importantes variaciones en las pendientes, generadas por circulación compartimentada.

La distribución granulométrica cerca de la desembocadura de la albufera de Mar Chiquita evidencia fuertemente la mezcla de poblaciones en los sedimentos de la playa frontal. En cambio hacia el norte, los sedimentos son más homogéneos.

Durante climas normales, con olas de gran longitud de onda y baja pendiente, se produce transporte hacia la playa (*onshore*). En estos casos las olas producen agradación, una barra amplia, un perfil suavizado y una pendiente abrupta en la cara de playa, no distinguiéndose barras a lo largo de la costa. Pero luego de tormentas, asociadas con olas de corta longitud (sudestadas), se incrementa la acción erosiva del oleaje y se produce un importante ascenso en el nivel medio del mar por ondas de tormenta (Isla 1995). Las olas de tormenta originan un transporte hacia el mar (*offshore*), provocando erosión de la playa emergida y una barra de arena submareal. Las olas posteriores a la tormenta, movilizan esa barra de arena hacia el continente y finalmente las mismas terminan emergiendo en la cara de playa (Bértola 2006). En la costa estudiada, la presencia de barras se ha observado en las playas más abiertas del norte. Las playas del sur, por la presencia de los espigones y su forma semicircular no poseen barras tan evidentes, ya que las mismas migran rápidamente en el sentido de la deriva y así el aporte a la playa frontal (y posteriormente a la distal) es limitado.

En relación a los ciclos -estacionales y tormentas-, estas playas pueden tener cambios estacionales o no estacionales al mismo tiempo que pueden estar en equilibrio o no (Dubois 1988). Puede haber costas en equilibrio aparente en las que un efecto episódico puede provocar desequilibrios en determinado balance anual (Morton 1979).

Si bien no se ha verificado en todas las zonas, los balances sedimentarios indican pér-

didada de arena generalizada en casi todas las playas (en mayores o menores volúmenes). Generalmente invierno y primavera han sido erosivos y el período verano/otoño no evidenció tendencias netas dominantes. Se observa que la influencia de los ciclos estacionales en los balances sedimentarios es menos importante que el efecto de las tormentas, con un mayor movimiento de material durante esos períodos episódicos. Estas drásticas variaciones de volumen se incrementan cuando se superponen tormentas seguidas. Al norte de Mar Chiquita los efectos localizados de las sudestadas son atribuidos a la refracción de los bancos alineados. En Pinamar, estas tormentas pueden modificar los fondos hasta profundidades de 8 m (Isla 1995). También se observó que los efectos de tormentas combinadas en lapsos cortos son más efectivos que grandes tormentas aisladas, ya que la primera tormenta tiene un efecto destabilizador sobre el fondo y sin que medie el lapso suficiente para acomodarse el perfil de la playa submarina, la segunda tormenta tiene garantizados mayores efectos erosivos (Lee *et al.* 1998; Schnack *et al.* 1998).

El rango más notable en la zona norte es la presencia de dorsales arenosas que actúan sustancialmente sobre las olas de largo período, modificando el ángulo de incidencia sobre las playas. Esto produce efectos locales y marcada asimetría en planta de las playas, asimetría que es eliminada en los sectores balnearios con el emparejamiento de la arena por topadoras en la primavera. Distintos modelos se han propuesto sobre el origen de las dorsales de arena. Queda claro que están vinculados a regímenes micro-mesomareales con dominio de las arenas sobre los fangos en costas no progradantes (Hayes y Nairn 2004). Algunos autores norteamericanos los vinculan a antiguas barreras medianosas retrabajadas por el aumento del nivel del mar (Stubblefield *et al.* 1984). Otros los han vinculado directamente al retroceso de la línea costera (Swift *et al.* 1973 y 1984; Kokot 1997). Todos concluyen con que el mantenimiento o crecimiento de las dorsales de arena se deben a las tormentas. Más recientemente, se han propuesto modelos evolutivos para explicar aquellos sistemas donde se preser-

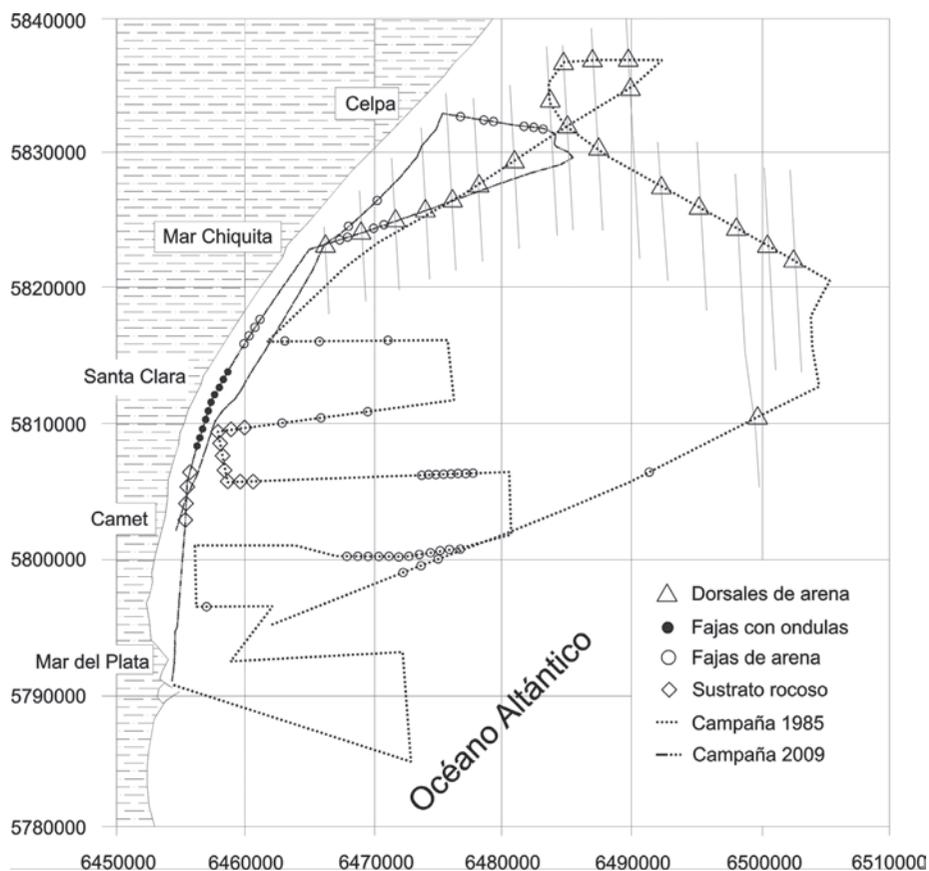


Figura 6: relevamientos de fondo comparados entre 1985 y 2009.

van las facies de barrera (estadio inicial de evolución) y aquellos que han perdido sus núcleos de barrera (Snedden y Dalrymple 1999). Respecto a la eventual explotación de las dorsales de arena para repoblar playas, el Servicio Geológico de Maryland ha realizado un detallado análisis de los campos de dorsales a explotar así como la metodología para monitorear la extracción (Conkwright y Gast 1995). De todos modos, se han establecido algunos reparos a la extracción indiscriminada de estas arenas apuntando a la alteración de la dinámica, física y sedimentaria (Hayes y Nairn 2004) así como los efectos sobre las comunidades biológicas. Si bien los trabajos de refulado desde la plataforma se vienen desarrollando hace años, se han comenzado a analizar los efectos físicos y biológicos en el fondo (Byrnes *et al.* 2004; Nairn *et al.* 2004). Por ejemplo, en el sector dragado al SE de la Isle of Wight, la macrofauna bentónica se recuperó en un 70-80% en los primeros 100 días, y completamente en 175 días

(Newell *et al.* 2004). Otro de los efectos que se deben analizar apunta a las consecuencias del repoblamiento en la dinámica de olas y en la magnitud del transporte litoral (Kelley *et al.* 2004).

En relación a los espigones, cada tipo de costa requiere necesariamente estrategias particulares de defensa (Louisse y Van der Meulen 1991). Las obras de defensa de Florida (USA) se implementaron teniendo en cuenta preferentemente el grado de desarrollo costero que la magnitud de la erosión que las justifiquen (Esteves y Finkl 1998). Los primeros espigones y defensas costeras en Mar del Plata se realizaron sin considerar los impactos que su construcción podría generar en el sistema litoral (Lagrange 1993). El más obvio impacto de los espigones es que aumentan la densidad de las corrientes *rips*, y por lo tanto el transporte hacia el mar (Short 1992). Los espigones originaron incremento de la erosión en Santa Clara del Mar y Mar Chiquita (Schnack *et al.* 1983). Los manuales del CERC (1984)

y del CETN (1990) consideran que los mismos interrumpen la dinámica entre las playas y las barras submareales, aumentan la pendiente de la playa frontal y generan corrientes de retorno que erosionan la playa sumergida. Muchas veces la suma de varios espigones cortos produce mayor movilidad del sedimento que la presencia de uno de gran longitud. Si bien logran acumular arena en la playa emergida, erosionan los sectores sumergidos y aumentan la pendiente de la playa. Los balances de las playas entre espigones indican que poseen una dinámica menor, es decir el intercambio acumulación/erosión es menor que las playas abiertas. Esto se ha podido comprobar comparando las playas de La Manada y Playa Dorada, con las de Camet Norte y Mar Chiquita. Las playas del sur poseen cabos rocosos naturales y arrojaron acumulación o casi equilibrio, en tanto que las playas entre espigones (o entre cabos y espigón), ubicadas al norte, tuvieron balances erosivos. Junto a los espigones se pudo constatar la presencia de corrientes *rip* tanto en las observaciones de campo (MacMahan *et al.* 2005) como en los modelados matemáticos (Poort 2007).

En todas las playas turísticas con infraestructura balnearia hay alteraciones morfológicas inducidas por los concesionarios. Generalmente se produce un acarreo mecánico de arena desde la playa distal (inclusive del médano) hacia la playa frontal. Esta actividad es efectuada a fines de la primavera y provoca el enrasado de ambas crestas de berma (de tormenta o de mareas). En algunas playas existen diferencias de hasta 1 m en las cotas entre relevamientos, variaciones cuyos orígenes hay que atribuirlos a efectos eólicos, sobrelavados y alteraciones antrópicas. En algunos casos, como la playa de Mar Chiquita o Playa Dorada, fue difícil establecer las condiciones de borde de los perfiles, ya que el espaldón natural es sistemáticamente enrasado y su zona distal ha sufrido alteraciones de morfología provocadas por los concesionarios de balnearios.

Los cambios climáticos inciden también en la frecuencia con que las tormentas inundan áreas bajas. El diseño de localidades costeras no ha tenido en cuenta estos cambios y puede tener impactos serios en el futuro (Titus *et al.* 1987). El efecto de las tormentas también se ejerce sobre las playas al pie de acanti-

lados y producen una erosión vertical significativa en las paredes. De esta forma se facilita el derrumbe del material y se contribuye al retroceso de la línea de costa. La ampliación de la ruta 11 obligó a establecer drenajes hacia zonas de playa en Camet que impactarán en caso de lluvias copiosas frecuentes y una pérdida de la capacidad estética en algunas playas. En Santa Clara del Mar, en el sector de desembocadura del arroyo Santa Elena, la magnitud de la playa depende de las variaciones de la descarga del arroyo.

CONCLUSIONES

Si bien los ritmos de erosión han disminuido en los últimos 20 años con la construcción de campos de espigones, la erosión se ha extendido hacia áreas que antes no la tenían por causas naturales (Estancia Mar Chiquita).

Las playas al norte de Mar de Cobo poseen barras frecuentes y con continuidad lateral, en tanto que las playas del sur no tuvieron barras, mientras duró el estudio.

Las playas mantenidas artificialmente (entre espigones) resultan más estables (menos dinámica) aunque se recuperan con mayor dificultad. Están limitadas al transporte litoral (deriva) y a la recuperación natural a través de barras migrando *onshore*.

Los campos de espigones entre Camet y Santa Clara del Mar han aumentado el transporte *offshore*. De ese modo los sectores sumergidos están dominados por afloramientos rocosos (tosca) o delgadas y poco espesas fajas de arena.

La presencia de dorsales de arena al norte de Mar Chiquita son ideales como áreas de préstamo para la alimentación de playas que requieran cualquier tamaño granulométrico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Cart. Marcelo Farenga, al Lic. Matías Taglioretti y José Bedmar por la colaboración en los relevamientos y al PIP-1318 CONICET que financió este estudio. Daniel Martínez y alumnos de la FCEN participaron de la campaña marina. La Prefectura Naval de Mar del Plata colaboró desinteresadamente en estas actividades. Susana Serra fue la responsable de los trabajos de laboratorio.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bértola, G., 2006. Morfodinámica de playas del sudeste de la provincia de Buenos Aires (1983 a 2004). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología (Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis)* 13: 31-57.
- Bértola, G. y Pastorino, S., 1998. Experiencias de trampas de sedimento en las playas de Pinar. *Actas de las V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*: 155-164, Mar del Plata.
- Bértola, G., 2001. 21 years of morphological modifications in an urbanized beach (Playa Grande, Mar del Plata), Argentina. *Revista Thalassas* 17: 21-36.
- Bértola, G., Farenga, M., Cortizo, L. e Isla, F., 1999. Dinámica morfológica de las playas de Villa Gesell (1994-1996), Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 23-35.
- Bertoncello, R., 1992. Configuración socio-espacial de los balnearios del Partido de La Costa (Provincia de Buenos Aires), Territorio 5. 12 pp.
- Blott, S. y Pye, K., 2001. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237-1248.
- Byrnes, M., Hammer, R., Thibaut, T. y Snyder, D., 2004. Physical and biological effects of sand mining offshore Alabama, USA. *Journal of Coastal Research* 20: 6-24.
- Castro, J., Fernandes, D. y Dias, F., 2011. Monitoramento do processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras - Estado do Rio de Janeiro/Brasil: Aplicação de metodologia quantitativa. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11: 355-368.
- Caviglia, F., Pousa, J. y Lanfredi, N., 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. *Memorias del 2° Congreso de Ciencias de la Tierra*: 413-422, Chile.
- Chapman, D., 1981. Coastal erosion and the sediment budget, with special reference to the Gold Coast, Australia. *Coastal Engineering* 4: 207-227.
- CETN (U.S. Army Coastal Engineering Technical Notes), 1990. Prediction of Eroded vs. Accreted beaches. Technical Report N°II-2 (9/90). 7 pp.
- Conkwright, R. y Gast, R., 1995. Potential offshore sand resources in Southern Maryland shoal

- fields. Department of Natural Resources, Maryland Geological Survey Rept. 95-4. 42 pp.
- Dadon, J., Chiappini, G. y Rodríguez M., 2002. Impactos ambientales del turismo costero en la provincia de Buenos Aires. *Gerencia Ambiental* 9: 552-560.
- Del Río, J. y Schnack, E., 1985. Efectos de tormenta en la depositación selectiva de minerales pesados en playas. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 16: 27-33.
- Dubois, R., 1988. Seasonal changes in beach topography and beach volume in Delaware. *Marine Geology* 81: 79-96.
- Esteves, L. y Finkl, C., 1998. The problem of critically eroded area (CEA): an evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research* SI 26: 11-18.
- Farinnaccio, A., Cazzoli, Y., Goya, S. y Tessler, M., 2009. Variations of the shoreline on Santos and São Vicente bays. *Quaternary and Environmental Geosciences* 1: 42-48.
- Fasano J., Hernandez M., Isla F. y Schnack E., 1982. Aspectos evolutivos y ambientales de la laguna Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires). *Oceanologica Acta, Número Especial*: 285-292.
- Folk, R. y Ward, W., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- Framiñan, M., 1987. Deriva litoral en la costa bonaerense. Informe final CONICET. 52 pp. (inédito).
- Hayes, M. y Nairn, R., 2004. Natural maintenance of sand ridges and linear shoals on the I. S. Gulf and Atlantic continental shelves and the potential impacts of dredging. *Journal of Coastal Research* 20: 138-148.
- Inman, D. y Dolan, R., 1989. The Outer Banks of North Carolina: Budget of Sediment and Inlet Dynamics along a Migrating Barrier System. *Journal of Coastal Research* 5: 193-237.
- Isla, F., 1990. Tendencias litorales y transversales de transporte en playas y boca de marea: Mar Chiquita, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 21: 75-87.
- Isla, F., 1992. Overpassing and armouring phenomena on gravel beaches. *Marine Geology* 110: 369-376.
- Isla, F., 1995. Efectos de tormentas sudestadas en el litoral bonaerense durante 1993, Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar: 111, Mar del Plata.
- Isla, F., 1997a. Seasonal behaviour of Mar Chiquita tidal inlet in relation to adjacent beaches, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13: 1221-1232.
- Isla, F., 1997b. Procesos de canibalización de la barrera medanosa entre Faro Querandí y Mar Chiquita, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 539-548.
- Isla, F., 2006. Erosión y defensa costeras. En Isla, F. y Lasta, C. (eds.) *Manual de Manejo costero para la Provincia de Buenos Aires*, EUDEM, Mar del Plata, 125-147.
- Isla, F., Bértola, G., Farenga, M., Serra, S. y Cortizo, L., 1998. Villa Gesell: un desequilibrio sedimentario inducido por fijaciones de médanos. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 5: 41-51.
- Isla, F. y Aliotta, S., 1999. Storm dispersal of volcanogenic sands from Buenos Aires. Where heavy-metal concentrations are heavy-mineral segregations. *Marine Georesources and Geotechnology* 17: 357-370.
- Isla, F. y Bujalesky, G., 2000. Cannibalisation of Holocene gravel beach plains, northern Tierra del Fuego, Argentina. *Marine Geology* 170: 105-122.
- Isla, F. y Fasano, J., 1987. Arenas litorales de la Provincia de Buenos Aires: recurso minero o recurso ambiental. X Congreso Geológico Argentino, Tucumán, Actas I: 79-82.
- Isla, F. y Villar, M., 1992. Ambiente costero. Pacto ecológico. UNMDP y Senado de la Provincia de Buenos Aires (inédito). 24 pp.
- Juárez, V., Cortizo, L. e Isla, F., 2001. Evolución urbana del sector costero sur de General Pueyrredón. *Revista Geográfica* 129: 143-156.
- Juárez V. e Isla F., 1999. Evolución histórica del núcleo urbano de Villa Gesell. *Revista Geográfica* 125: 49-60.
- Kelley, S., Ramsey, J. y Byrnes, M., 2004. Evaluating shoreline response to offshore sand mining for beach nourishment. *Journal of Coastal Research* 20: 89-100.
- Kokot, R., 2010. Espigas indicadoras de proveniencia de olas en la costa argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 19-26.
- Kraft, J. y Allen, E., 1976. Delaware's changing shoreline. Tech report 1, Delaware coastal zone management program, Newark. 319 pp.
- Lagrange, A., 1993. Mar, playas y puerto. Fundación Bolsa de Comercio de Mar del Plata, Mar del Plata. 556 pp.
- Lanfredi, N., Pousa, J., Mazio, C. y Dragani, W., 1992. Wave-power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17: 997-1006.
- Lee G., Nicholls R. y Birkemeier W., 1998. Storm-induced profile variability of the beach-near-shore profile at Duck, North Carolina, USA, 1981-1991. *Marine Geology* 148: 163-177.
- León, J. y Tavares Correa, C., 2006. Quantification of shoreline changes in Salaverry, Peru. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 39: 1013-1016.
- Louisse, C. y Van der Meulen, F., 1991. Future coastal defence in The Netherlands: strategies for protection and sustainable development. *Journal of Coastal Research* 7: 1027-1041.
- MacMahan, J., Thornton, E., Stanton, T. y Reniers, A., 2005. RIPEX: Observations of a rip current system. *Marine Geology* 218: 113-134.
- Marcomini, S. y López, R., 1997. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología a Revista* 4: 79-96.
- Martin, L. y Suguio, K., 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 99: 119-140.
- Merlotto, A. y Bértola, G., 2009. Coastline evolution at Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Ciencias Marinas* 35: 271-286.
- Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Obras Sanitarias del Gobierno de los Países Bajos, 1997. Estudio del puerto y la costa de Mar del Plata. Informe Interno de la Municipalidad de General Pueyrredon. 142 pp.
- Mohanty, P., Patra, S., Bramha, S., Seth, B., Pradhan, U., Behera, B., Mishra, P. y Panda, U., 2012. Impact of groins on beach morphology: a case study near Gopalpur Port, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, 28 : 132-142.
- Morton, R., 1979. Temporal and spatial variations in shoreline changes and their implications, examples from the Texas Gulf coast. *Journal of Sedimentary Petrology* 49: 1101-1112.

- Nairn, R., Johnson, J. A., Hardin, D., y Michel, J., 2004. A biological and physical monitoring program to evaluate long-term impacts from sand dredging operations in the United States Outer Continental Shelf. *Journal of Coastal Research* 20: 126-137.
- Newell, R., Seiderer, L., Simpson, N. y Robinson, J., 2004. Impacts of marine aggregate dredging on the benthic macrofauna off the South Coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research* 20: 115-125.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2011. Previsiones Climáticas. Modelos WAVEWATCH III. Disponible online en www.windnguru.cz.
- Park, Y. y Edge, B., 2011. Beach erosion along the northeast Texas coast. *Journal of Coastal Research* 27: 502-514.
- Parker, G., Perillo, G. y Violante, R., 1978. Características geológicas de los bancos alineados (linear shoals) frente a Punta Médanos, Provincia de Buenos Aires. *Acta Oceanographica Argentina* 2: 11-50.
- Peña, H. y Lanfredi, N., 1988. Beach profile analysis by empiric orthogonal functions. *Journal of Coastal Research* 4: 457-463.
- Poort, M., 2007. Rip Currents: A lab study of a rip current in the presence of a submerged reef. Delft University of Technology. Tesis Inédita. 116 pp.
- Pranzini, E. y Farrell, E., 2006. Shoreline evolution and protection strategies along the Tuscany coastline, Italy. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39: 842-847.
- Schnack, E., Alvarez, J. y Cionchi, J., 1983. El carácter erosivo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Miramar, Provincia de Buenos Aires. Simposio de Oscilaciones del Nivel del Mar durante el último hem ciclo deglacial en la Argentina, Actas: 118-130, Mar del Plata.
- Schnack, E., Fasano, J. e Isla, F., 1982. The evolution of Mar Chiquita lagoon, Province of Buenos Aires, Argentina. En Colquhoun, D. (ed.) *Holocene Sea Level Fluctuations: Magnitudes and Causes*. IGCP 61, University of South Carolina, 143-155. Columbia.
- Schnack, E. y Gardenal, L., 1979. Holocene transgressive deposits, Mar Chiquita Lagoon area, Province of Buenos Aires, Argentina. *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary Proceedings*, 419-425, San Pablo.
- Schnack, E., Pousa, J. e Isla, F., 1998. Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. *Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, Band 20: 133-136.
- Short, A., 1992. Beach systems of the central Netherlands coast: Processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. *Marine Geology* 107: 103-137.
- Snedden, J. y Dalrymple, R., 1999. Modern shelf sand ridges: historical review of modern examples and a unified model of ridge origin and evolution. In: Bergman, K.M. and Snedden, J.W. (eds.) *Isolated shallow marine sand bodies: sequence stratigraphic analysis and sedimentologic interpretation*. SEPM Special Publication 64: 13-28.
- Spalletti, L. y Mazzoni, M., 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, distal y médanos del litoral Atlántico bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34: 12-30.
- Stublefeld, W., McGrail, D. y Kersey, D., 1984. Recognition of transgressive and post-transgressive sand ridges on the New Jersey continental shelf. *SEPM Special Publication* 34: 1-23.
- Swift, D., McKinney, T. y Stahl, L., 1984. Recognition of transgressive and post-transgressive sand ridges on the New Jersey continental shelf: a discussion. *SEPM Special Publication* 34: 25-36.
- Swift, D., Duane, D. y McKinney, T., 1973. Ridge and swale topography of the Middle Atlantic Bight, North America: Secular response to the Holocene hydraulic regime. *Marine Geology* 15: 227-247.
- Teruggi, M., 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*: 1-37.
- Titus, J., Kuo, C., Gibbs, M., LaRoche, T., Webb, M. y Waddell, J., 1987. Greenhouse Effect, Sea Level Rise, and Coastal Drainage Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 216: 216-227.
- Verón, M., 2011. Transporte Potencial Litoral de Sedimentos en las Costas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesina inédita de Licenciatura en Tecnología Ambiental. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 62 pp.
- Violante, R. y Parker, G., 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior-Holoceno en la llanura costera de la región de Faro Querandí (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 215-227.

Recibido: 8 de agosto, 2012

Aceptado: 23 de abril, 2013