



Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires

Zoning of coastal erosion in Santa Clara del Mar, Buenos Aires province

Bunicontro, M. Paula¹ ✉ - Marcomini, Silvia C. ¹ - López, Rubén A.¹

Recibido: 28 de Mayo de 2012 • Aceptado: 05 de Junio de 2013

Resumen

La zona de estudio comprende el área costera de la localidad de Santa Clara del Mar, ubicada en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, en el partido de Mar Chiquita. El entorno natural del área de estudio ha sufrido modificaciones, producto principalmente del rápido crecimiento urbanístico y turístico, incrementando la erosión de playa y el retroceso de los acantilados de manera considerable. El objetivo del presente trabajo radica en analizar la morfodinámica y el retroceso costero entre 1958 y 1975 cuando la costa mostraba condiciones naturales, y las variaciones morfológicas registradas luego de la implementación de estructuras de protección entre los años 1975 y 2009.

Las tasas de retroceso natural obtenidas entre los años 1958 y 1975, para la localidad de Santa Clara del Mar, variaron desde 1,7 m/año en el sector sur hasta 5,8 m/año en el norte.

El análisis histórico de vulnerabilidad a la erosión permitió diferenciar a la costa de Santa Clara en tres sectores con distinta magnitud: alta, media y baja, correspondientes a un sector norte, central y sur, respectivamente.

La tasa de acumulación de arena en la playa entre 1958 y 2009 fue de 0,9 m/año promedio para toda la costa.

Entre los principales factores que modificaron las condiciones hidrodinámicas del sistema litoral en la ciudad de Santa Clara del Mar se destacan: la destrucción y degradación del campo de dunas colgado, la canalización del Arroyo Los Patos, la instalación de paredones verticales y la construcción de una serie de espigones en 'J' a partir de la década de 1950. Por otro lado, las estructuras de protección costera ubicadas en Mar del Plata han influenciado indirectamente en la subsaturación de la deriva litoral, incrementando la erosión costera hacia el sur.

Palabras clave: erosión costera, retroceso, vulnerabilidad, playa.

1. IGEBBA Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, CP.1428.

✉ paulabunicontro@hotmail.com

Abstract

The studied region includes the coastal zone of Santa Clara del Mar town, situated in the southeast of Buenos Aires province, in Mar Chiquita district. The natural environment of this area has

been modified, mainly because of the fast growth of urbanization and tourism, increasing the erosion on the beach and the cliffs' regression seriously. The aim of this paper is to analyze the morphodynamics and the coastal erosion during 1958 and 1975 when the coast showed natural conditions, and the morphological changes registered after the implementation of coastal protection structures between 1975 and 2009.

The natural regression rates obtained between 1958 and 1975 in Santa Clara del Mar varied from 1,7 m/year in the south to 5,8 m/year in the north.

The historical vulnerability to erosion analysis allowed us to divide Santa Clara del Mar's coast into three sectors with different magnitude: high, moderate and low, corresponding to northern, central and southern sectors, respectively.

The accumulation rate of sand in the beach between 1958 and 2009 was about 0,9 m/year for all the coast.

The main factors that modified the hydrodynamic conditions of the coastal system of Santa Clara del Mar are: the destruction and degradation of perched dunes field, the channeling of Los Patos stream, the setting up of seawalls and the building of a group of breakwaters in 'J' since 1950s. On the other hand, the coastal protection structures located in Mar del Plata have indirectly influenced on the longshore drift undersaturation, increasing the coastal erosion to the south.

Keywords: coastal erosion, regression, vulnerability, beach.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende la localidad de Santa Clara del Mar, ubicada en el municipio de Mar Chiquita, al sudeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Dicha localidad balnearia dista 370 km de la Capital Federal y 17 km de la ciudad de Mar del Plata.

Durante las últimas décadas, el rápido crecimiento de las localidades costeras no ha considerado las limitaciones que el medio físico impone para su desarrollo. La urbanización y el

avance del turismo sobre la costa de Buenos Aires han llevado a una explotación intensiva de los recursos naturales sin tener en cuenta las consecuencias. El entorno ambiental y natural en el que se desarrolló el área costera de estudio ha sufrido modificaciones a lo largo de los últimos años de acuerdo a causas naturales y a cambios introducidos por la actividad antropogénica y el avance del frente urbano. Esto ha afectado, directa o indirectamente, las tasas de aporte de sedimentos al sector costero, y como resultado se han incrementado los procesos de erosión de las playas y el retroceso de los acantilados de manera notable.

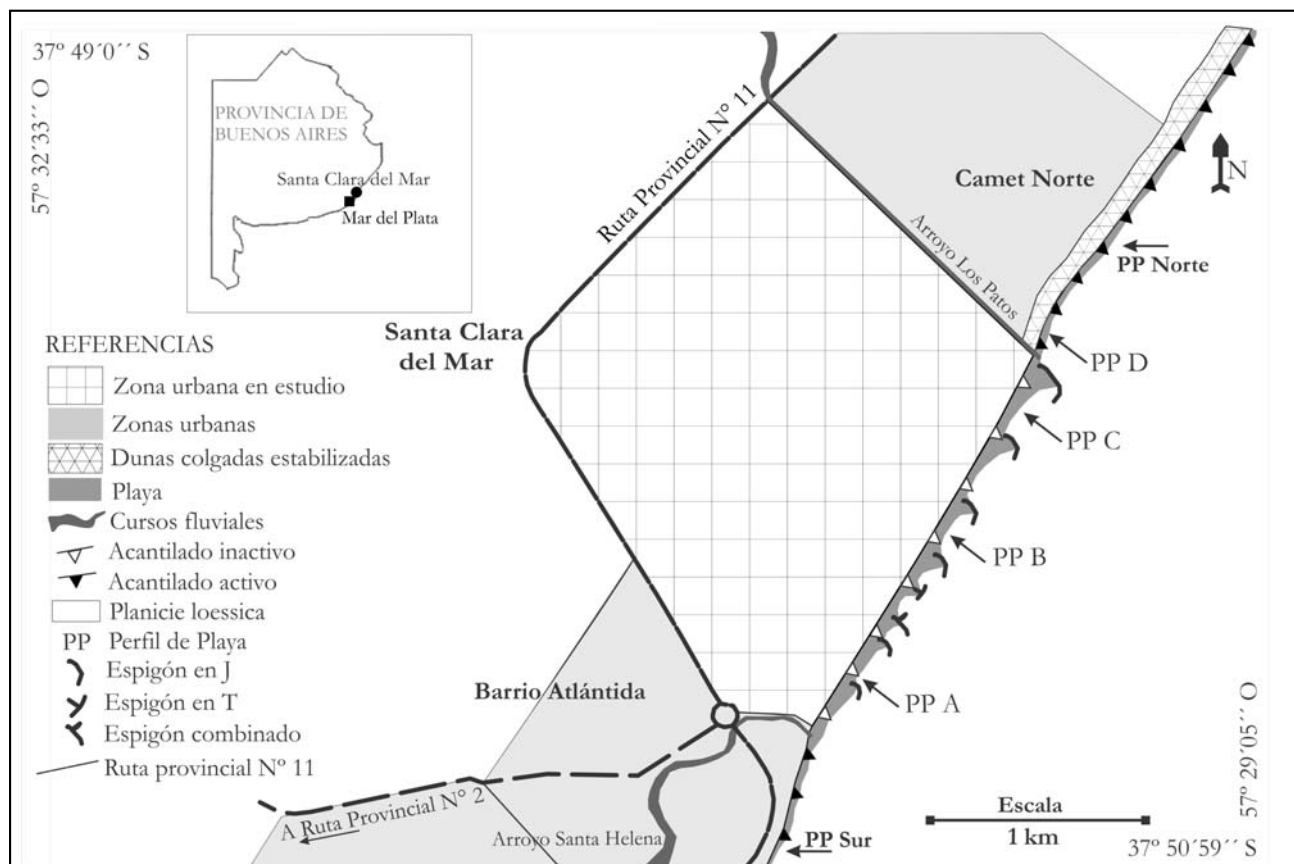


Figura 1. Mapa de ubicación.

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la morfodinámica y el retroceso costero y su estabilización como consecuencia de la implementación de estructuras de defensa costera, entre los años 1958 y 2009, con el fin de obtener tasas de retroceso de línea de costa y delimitar zonas con mayor o menor riesgo de erosión. Otros puntos a abordar son la caracterización de la morfología original y evolución costera entre dichos años y la caracterización de la morfología de la playa actual y el perfil de la costa.

La costa de la provincia de Buenos Aires fue estudiada desde el punto de vista sedimentológico y composicional por *Teruggi (1959)* y *Spalletti y Mazzoni (1979)*.

Estudios acerca de la dinámica costera e impactos antrópicos fueron realizados por *Tassara y García (2005)* e *Isla (2006)* mientras que *Merlotto et al. (2008)* analizaron el riesgo de erosión costera en la localidad de Mar Chiquita. *Schnack et al. (1983)* han registrado valores de erosión levemente superiores al metro por año para Santa Clara del Mar. Estudios de índole ambiental y asociados a las alteraciones antropogénicas en la costa bonaerense fueron hechos por *Isla et al. (1997, 1998 y 2001)* e *Isla y Cassanelli (1999)*. *Guzzi (2006)* analizó el estado de la contaminación costera y la balneabilidad en dicha zona mientras que *Fiore et al. (2009)* analizaron el fenómeno climático de tormentas y su impacto en esta área costera. Aportes desde el punto de vista geomorfológico han sido realizados por *Schnack et al. (1982)* y *Fasano et al. (1984)*. Por su parte, estudios regionales sobre la dinámica costera asociada al transporte de arena y la morfodinámica de playas han sido desarrollados por *Marcomini y López (1993 y 1997)*, *López y Marcomini (2002)*, *Bértola y Cortizo (2005)* y *Bértola (2006)*. Puntualmente, un amplio análisis sobre la geología y dinámica costera de la localidad de Santa Clara del Mar y alrededores fue desarrollado por *Bunicontro (2012)*.

Descripciones de distintos tipos de manejo costero asociado a la erosión de playas en la provincia de Buenos Aires fueron hechas por *López y Marcomini (1998 y 2000)*, *Marcomini y López (2005)* y *Marcomini et al. (2007)*.

METODOLOGÍA

El análisis del retroceso de la línea de costa se llevó a cabo a través de la observación de fotografías aéreas en escala 1:20.000 del Departamento de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires de los años 1958, 1975 y 1986 y de la imagen satelital Google Earth 2009. Para ello, se midieron las distancias perpendiculares al pie del acantilado desde la Avenida Acapulco (vía principal paralela a la línea de costa) en 6 puntos de sur a norte separados cada 400 m (Figura 2). Estos valores de distancia fueron graficados en función del tiempo y se aproximaron a una curva de regresión lineal, a partir de la cual se calcularon velocidades de retroceso costero para la localidad balnearia. A su vez, en cada punto de observación se midieron anchos de playa (teniendo en cuenta un estadio de marea media normal) para estimar tasas de acumulación de sedimentos. Todas las mediciones se realizaron de manera milimetrada sobre las fotografías aéreas utilizando también el método de estereoscopia, a excepción de aquellas realizadas sobre la imagen satelital.

Para el análisis de los cambios geomorfológicos más relevantes se ha realizado un estudio comparativo entre dichos años considerando además, modificaciones producto del avance de la urbanización, y se obtuvo un mapa de zonificación histórica de la erosión para esta localidad.

Con el objetivo de caracterizar la morfología de la playa actual y el perfil de la costa se han relevado 4 perfiles topográficos transversales utilizando una estación total los cuales fueron denominados A, B, C y D de sur a norte y ubicados según muestra la Figura 1. Los primeros tres se ubicaron sobre la costa de Santa Clara del Mar, específicamente entre los distintos espigones de defensa para analizar su efecto sobre la configuración de la playa ya sea que se encuentren en el ala sur o norte de la estructura. El cuarto perfil se localizó sobre la costa de Camet Norte, inmediatamente al norte de Santa Clara del Mar, con el fin de analizar la dinámica costera en este sector ya que se encuentra bajo el efecto erosivo de los espigones antes mencionados, y con un desarrollo mayor del campo de dunas colgado. Dichos perfiles se realizaron en condiciones de marea baja y fueron referenciados a puntos fijos con sistema de posicionamiento global en caso de efectuar futuros monitoreos.

HIDRODINÁMICA LITORAL Y CLIMA

El clima de la región es templado con precipitaciones abundantes todo el año y una amplitud térmica baja. La temperatura media anual es de 14,2 °C, con una máxima anual de 19,7 °C y una mínima anual de 8,8°C (*Rodriguez, et al., INTA, 2008*). Las precipitaciones medias anuales son de 930,6 mm y la humedad relativa anual es de 76,5%. Los vientos alcanzan sus mayores velocidades promedio durante los meses de primavera con 19 m/s si bien las mayores fluctuaciones y ráfagas ocurren durante el otoño/invierno. Las principales direcciones corresponden a los vientos continentales del norte y oeste seguidos por los vientos marítimos del sur y este.

El régimen de mareas es micromareal mixto preponderantemente semidiurno con una amplitud media de 0,80 m y una máxima de 1,55 m (*Servicio de Hidrografía Naval, 2011*).

La altura media de las olas para esta zona es de 0,91 m con un período de 9,5 segundos mientras que la altura máxima de las olas puede alcanzar los 2,3 m (*Lanfredi et al., 1992*). Las mayores alturas de olas se alcanzan fundamentalmente en los eventos de sudestadas que afectan a la costa bonaerense, las cuales aumentan el nivel del mar y son acompañadas de fuertes vientos, modificando los perfiles de playa. La deriva litoral predominante se desplaza desde el SSO hacia el NNE y la velocidad de las corrientes litorales para el sector costero comprendido entre Mar del Plata y Mar Chiquita (de SO a NE) es de 0,26 m/s a 0,3-0,5 m/s (*Servicio de Hidrografía Naval, 2000*).

GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuadra regionalmente en el extremo sudeste de las Sierras Septentrionales o Sierras de Tandil, inmediatamente al norte de sus últimos afloramientos. A excepción de los sistemas serranos, importantes superficies de la provincia fueron ocupadas por el mar en repetidas oportunidades desde el Neógeno, especialmente en el Terciario Superior y Cuaternario. Durante estas últimas transgresiones, los procesos de acumulación y erosión, generados por las variaciones de las líneas de costa, afectaron a gran parte de la costa bonaerense y dieron lugar a una gran diversidad de depósitos litorales (*Schnack et al., 2005*).

La zona estudiada se caracteriza por la presencia de sedimentos de edad plio-pleistocena y holocena. Las secuencias aflorantes en esta región del litoral bonaerense fueron agrupadas por *Frenquelli (1945)* en dos grandes series: Pampeano y Postpampeano.



Figura 2. Comparación de la evolución de la localidad de Santa Clara del Mar a través de las fotografías aéreas de 1958, 1975 y 1986 del Departamento de Geodesia de La Plata y la imagen satelital Google Earth de 2009. Se observa la distribución a lo largo de la Av. Acapulco de los puntos de medición. Nótese el desarrollo de dunas colgadas (I) en el año 1958 sobre la costa de Santa Clara y Camet Norte, su deterioro en 2009 (II) y estabilización posterior (III) como consecuencia del avance urbano. Se puede observar el aumento progresivo de la playa producto de la instalación de los distintos espigones de defensa, especialmente entre los años 1975 y 1986.

Se conoce con el nombre de ‘Sedimentos Pampeanos’ a todas las secuencias pleistocenas, ya sean continentales o marinas. Se caracterizan, en general, por una litología consistente en limos, areniscas y conglomerados con variables contenidos de material carbonático o tosca. La Formación Pampeano fue definida por *Fidalgo et al. (1973)* y comprende lo que Frenquelli denominó ‘Piso Ensenadense’ y ‘Piso Bonaerense’. A su vez, los sedimentos pampeanos fueron diferenciados en dos unidades litoestratigráficas por *Riggi et al. (1986)*: Formación Ensenada y Formación Buenos Aires. En gran parte de estas unidades es característica la presencia de niveles de paleosuelos y de rasgos pedológicos a lo largo de toda la sucesión sedimentaria. Además, las estructuras biogénicas (cuevas y crotovinas) de vertebrados e invertebrados son muy frecuentes, incluyendo niveles con alto grado de bioturbación (*Zárate, 2005*).

La Formación Ensenada (Pleistoceno Inferior a Medio) está constituida por limos arcillo-arenosos de color castaño cla-

ro con tramos de edafización y nódulos de carbonato de calcio. Se infiere una génesis eólica, y acumulación en un medio ácuco, ya sea lacustre o fluvial (*Riggi et al., 1986*). Contiene fauna de edad mamífero ensenadense y ha sido descrita en perfiles estratigráficos y en registros magnéticos en las cercanías a la localidad de Santa Clara del Mar por *Bidegain et al. (2005)*.

La Formación Buenos Aires (Pleistoceno Superior) se encuentra constituida por limos friables y sedimentos loésicos en su mayoría porosos, no estratificados y de color pardo claro a rojizo. Su litología es similar a las sedimentitas de la Formación Ensenada aunque aquí es típica la presencia de tosca. Posee una edad mamífero lujanense y *Riggi et al. (1986)* consideran que la génesis de los depósitos es predominantemente eólica y muy subordinadamente subácuca (fluvial o lacustre). Los sedimentos de la Formación Buenos Aires fueron estudiados y reconocidos en los perfiles magnetoestratigráficos de arroyo La Tapera, Camet y Santa Clara del Mar por *Bidegain et al. (2005)*.

La Formación Santa Clara (Pleistoceno Medio a Superior) fue definida por *Schnack et al. (1982)*, parcialmente equivalente a la Formación Pampiano de *Fidalgo et al. (1973)*. La sección tipo fue definida en Santa Clara del Mar por *Fasano (1991)*, quien le asigna edad mamífero lujanense. Su litología está compuesta por limos arcillosos a limos arenosos de color castaño rojizo a oscuro y castaño amarillento claro y se encuentra bien representada en los perfiles de los acantilados de Santa Clara del Mar en las proximidades del arroyo Santa Helena, donde alcanza un espesor máximo aflorante de 2 m.

Los Sedimentos Postpampeanos (*Ameghino, 1889*) están divididos en el "Piso Lujanense" (Pleistoceno Superior) y en el "Piso Platense" (Holoceno). Suprayacen, a través de una superficie de erosión, a los limos entoscados de la Formación Pampiano y su ambiente de depositación es continental y variable, con sedimentos principalmente de origen fluvial, lacustre y eólico, y con desarrollo de niveles de paleosuelos. *Fidalgo et al. (1973)* redefine los pisos Lujanense y Platense como Miembro Guerrero y Miembro Río Salado, respectivamente; y los agrupa en la Formación Luján.

RESULTADOS

Geomorfología

El paisaje de esta zona es poligenético aunque ha sido modelado en mayor medida por los procesos eólico, fluvial y marino.

El proceso fluvial se evidencia principalmente por la presencia de ríos cuyos valles corren perpendiculares a la costa. Se distinguieron dos cursos principales: uno en el extremo sur (arroyo Santa Helena) y otro en el extremo norte de la localidad de Santa Clara (arroyo Los Patos). Ambos cursos poseen un régimen permanente y un hábito meandriforme mientras que la red fluvial mantiene un diseño dendrítico. El arroyo Los Patos desembocaba hasta 1958 en la localidad actual de Camet Norte, a unos 1200 m al norte de su desembocadura actual. Originalmente se encontraba parcialmente canalizado en su tramo final a lo largo de aproximadamente 1000 m (Figura 2 A).

Los acantilados son activos y tienen una altura de entre 4 y 8 m. Están labrados sobre niveles limo-arenosos con intercalaciones de calcretes pertenecientes a los sedimentos Pampeanos

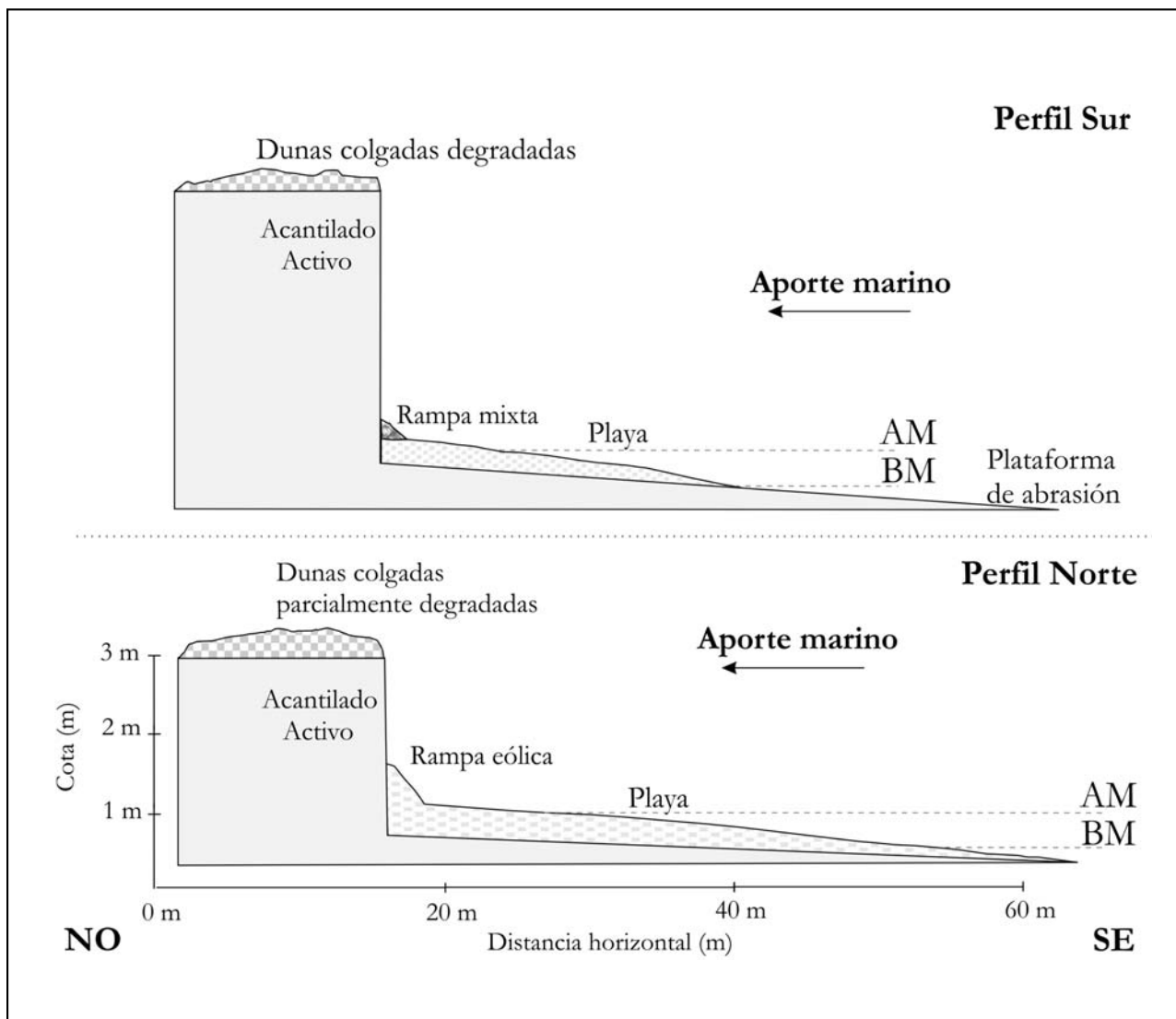


Figura 3. Modelo esquemático de perfil de costa actual sur (A) y norte (B); AM: alta marea, BM: baja marea.

y Post-Pampeanos del Pleistoceno tardío-Holoceno. Dichos niveles de mayor dureza les confieren un perfil irregular, con entrantes y salientes, por lo que es frecuente el desarrollo de cavernas en la base como consecuencia de la erosión producida por el oleaje.

Se distinguen dos modelos de costa acantilada (Figura 3): uno al sur de Santa Clara del Mar y otro al norte (ubicados en planta como perfiles de playa sur y norte en la Figura 1). El modelo sur posee acantilados que pueden alcanzar los 8 m de altura, con un amplio desarrollo de plataforma de abrasión de hasta 40 m, importante exposición al oleaje en estadios de alta marea y escaso desarrollo de rampas mixtas de poca altura. El modelo norte está representado por acantilados de poca altura (3 a 4 m), presencia de rampas eólicas de aproximadamente 1 m, sin desarrollo de plataformas de abrasión marina y con una alta exposición al oleaje sólo en estadios de mareas extraordinarias.

Las plataformas de abrasión están labradas sobre las sedimentitas limo arenosas del Pampeano, poseen surcos y canalizaciones transversales a la costa y su ancho es variable pudiendo alcanzar un máximo de 60 m (Figura 4). Su presencia es irregular e intermitente a lo largo de la costa, inmediatamente al sur de Santa Clara del Mar. Se encuentran parcialmente colonizadas por organismos marinos como mejillones (*Brachidontes rodriguessi*) y algas verdes.

La playa está compuesta de sedimentos arenosos. En los registros históricos se observa que tenía muy poco desarrollo con un ancho promedio de 20 m (Figura 2 A), mientras que en la actualidad, presenta anchos que varían entre 50 y 60 m, con desarrollo de bermas estacionales y playas frontales con pendientes altas que alcanzan los 6,5°.

El campo de dunas activo está representado en la actualidad por escasas dunas colgadas parcialmente vegetadas en el sector norte de Santa Clara. Se desarrolla a lo largo aproximadamente 300 m en una franja muy angosta con una altura promedio de 2 m. Originariamente estas dunas costeras no presentaban una morfología definida y su ancho variaba entre 60 m en el sector centro-sur hasta 200 m en el extremo noreste, extendiéndose a lo largo de 1,4 km de la costa de Santa Clara.

El modelo de costa original para esta zona, basado en la observación de datos históricos, consiste en la presencia de un acantilado activo con dunas colgadas de escaso desarrollo areal, una playa arenosa de baja pendiente y de aproximadamente 20 m de extensión sobrepuesta a una plataforma de abrasión labrada sobre sedimentos del Pampeano. La playa se caracteriza por poseer escaso desarrollo de playa distal y una amplia playa frontal.



Figura 4. Plataforma de abrasión al sur de Santa Clara del Mar.

Geomorfología Evolutiva

Las principales alteraciones sobre la dinámica natural del sistema en esta zona están dadas por el avance de la urbanización durante las últimas décadas y el desarrollo de esta localidad como centro turístico (Figura 2).

Se destaca un diseño reticulado de la urbanización (perpendicular a la costa). La superficie urbana se extendió desde la entrada a Santa Clara del Mar hacia el norte entre los años 1958 y 1975. Durante este período se llevó a cabo la canalización del arroyo Los Patos a lo largo de todo el tramo lindante a las edificaciones (aproximadamente 1.7 km), alterando su diseño original y dejando un paleocauce obturado en la localidad actual de Camet Norte.

A su vez, se delimitan nuevas manzanas y lotes en las localidades aledañas, y se lleva a cabo la forestación en el centro de Santa Clara a más de 400 m de la costa.

Actualmente, el campo de dunas colgado se encuentra totalmente degradado y vegetado debido a la construcción de viviendas y de la Avenida Costanera (Figura 5). Su ancho se ha reducido de manera considerable, alcanzando actualmente máximos de 5 a 8 m.

Defensas costeras

Los trabajos de instalación de estructuras de defensa para la preservación del área costera afectada seriamente por la erosión, comenzaron en la década de 1950. El primer espigón fue denominado Espigón de Pesca sobre la calle Necochea en 1949

y restaurado luego en 1956. Entre los años 1957 y 1971 se construyeron pequeños espigones de bloques concentrados entre la Av. del Arroyo y la Av. Río de Janeiro, donde se instalaron luego, muros de hormigón contra los acantilados. Durante la década del '60 se construyeron espigones entre las calles San Francisco y La Habana, uno de ellos constituido por bloques de cuarcita. Entre 1971-1973 se instalaron tres nuevos espigones de cuarcita a lo largo de la costa, aumentando la acumulación de arena en las playas aledañas. A partir de 1983 se restauraron y prolongaron los espigones originales y se construyeron otras dos escolleras sobre las calles Lastres y Bilbao. En la última década, se llevó a cabo la instalación de un nuevo espigón en forma de "T" a la altura de la calle Barranca de los Lobos.

En la actualidad se distinguen diversos tipos de defensa costera tanto en la zona de estudio como en sus alrededores (Figura 6). Al sur de Santa Clara del Mar, sobre las costas de las localidades de Playa Dorada, Barrio Santa Helena y Frente Mar dominan los montículos de bloques (*mounds*). Este tipo de defensa está construido con bloques de cuarcita apoyados directamente sobre un sustrato resistente (plataforma de abrasión) y dispuestos a lo largo de la costa, con el fin de conservar la base del acantilado, estabilizar su pendiente e impedir su retroceso. Los aspectos negativos de la implementación de estas defensas son que alteran el ambiente de playa natural, restringen parcialmente el espacio destinado a actividades recreativas e inhiben el aporte de sedimentos continentales a la deriva (*Marcomini y López, 1993*).



Figura 5. Duna colgada parcialmente vegetada y degradada por la construcción de la Av. Costanera y otras edificaciones.



Figura 6. A: Se observa un montículo de bloques dispuesto a lo largo de la costa al sur de Santa Clara del Mar; B: paredón vertical (*seawall*) contra el antiguo acantilado a la izquierda de la fotografía; C: detalle de espigón en 'T'; D: antiguo espigón de hormigón sobre la playa al frente (1) y espigón de cuarcita actual por detrás tanto en B como en D.

Sobre la costa de Santa Clara del Mar, dominan los espigones en gancho o en 'J' (se han construido 8 espigones en total) y los paredones verticales (*seawalls*). Los primeros corresponden a estructuras perpendiculares a la línea de costa que actúan principalmente interrumpiendo la deriva litoral, produciendo la acumulación de sedimentos y aumentando el ancho de playa. Se distingue además, un espigón en 'T' a la salida de la calle Barranca de los Lobos, el cual no sólo interrumpe la deriva litoral sino que también actúa como rompeolas. Este tipo de estructura produce las mejores tasas de acumulación ya que influye sobre la capacidad de transporte en sentido perpendicular y a lo largo a la costa (Marcomini y López, 1993). Si bien la instalación de espigones origina importantes recuperaciones en los volúmenes de los sedimentos de playa, el principal efecto adverso registrado durante su funcionamiento radica en una pérdida de la saturación de la deriva litoral aguas abajo (López y Marcomini, 1998). Por esta razón, es que se debe tener en cuenta un plan de manejo costero previo que indique entre otras cosas, el largo de cada espigón y la separación entre uno y otro. En este aspecto, analizando la disposición de los espigones a lo largo de la costa de esta localidad, Bunicontro (2012) estimó que por cada metro más de longitud que posea cada espigón, se pueden espaciar entre sí 4,3 m más respecto a una distancia patrón determinada, y lograr una acumulación de sedimentos similar e igualmente efectiva. Es decir, que los espigones de esta

localidad podrían estar más separados entre sí y lograr el mismo efecto (Bunicontro, 2012).

Los paredones verticales se encuentran dispuestos como revestimientos sobre los antiguos acantilados a lo largo de la costa analizada desde la Avenida del Arroyo hasta aproximadamente la calle la Florida. Estas estructuras son utilizadas para fijar la línea de costa e impedir su retroceso aunque pueden ser bastante inestables si no están sujetos a un sustrato resistente (Marcomini y López, 1993). Los aspectos negativos de implementar este tipo de medida de defensa radica en que la erosión que actuaba sobre la línea de costa es aplicada sobre los sedimentos de playa (Marcomini y López, 1993), resultando en el desarrollo de perfiles de playa más abruptos, aguas más profundas y alcance de las olas más altas, especialmente en ciclos erosivos asociados a tormentas del sudeste (López y Marcomini, 1998).

Estas modificaciones, han alterado notablemente la dinámica costera original de Santa Clara del Mar: disminuyendo el aporte de sedimentos arenosos hacia la playa por cambios en el aporte eólico (degradación y estabilización del campo de dunas colgado), marino (por disminución de aporte de arena de los acantilados debido a la construcción de paredones verticales) y fluvial (desviación y canalización de arroyos), entre otras variaciones locales.

Entre los factores regionales que regulan el aporte de sedimentos debe considerarse el desarrollo urbano de la ciudad de Mar del Plata, el cual incide en forma indirecta en el balance sedimentario de la zona litoral de Santa Clara del Mar. Las sucesivas estructuras de defensa instaladas a lo largo de la costa marplatense desde la década del '50, si bien aumentaron la acumulación localmente causaron importantes efectos erosivos deriva abajo (por subsaturación de la deriva) en las localidades ubicadas desde Camet a San Clemente del Tuyú (Marcomini y López, 1993).

Morfodinámica de playa actual

Perfil A

Se encuentra localizado entre las calles Lastres y Gijón, en la intersección con la Avenida Costanera, a unos 300 m aproximadamente de la desembocadura del arroyo Santa Elena y a unos 30 m al norte del primer espigón de defensa costera. Posee una pendiente total de $4,15^\circ$ y un ancho de playa de 67 m de los cuales 57 m pertenecen a la playa distal. La alteración antrópica del perfil de playa es intensa incluyendo la destrucción total de la duna colgada y la construcción de paredón vertical contra el frente acantilado, actualmente inactivo. El paredón se encuentra parcialmente cubierto de arena. La playa distal presenta una berma estacional mientras que la playa frontal está poco desarrollada (Figura 7) y posee una pendiente de $6,5^\circ$.

Perfil B

Se ubicó a la altura de la intersección de la calle La Florida y la Av. Costanera dentro del balneario California, ubicado entre el 5º y 6º espigón de defensa costera. Posee una pendiente general de $3,9^\circ$ y un ancho de playa total aproximado de 48 m. Este perfil también se ve alterado por la acción antropogénica debido a la destrucción de la duna colgada y a la instalación de

un paredón vertical que reviste el antiguo acantilado de casi 4 m de altura. La playa distal posee un ancho de 32,5 m y la playa frontal está poco desarrollada (Figura 7), con un ancho de 15,5 m y una pendiente de $2,6^\circ$.

Perfil C

Fue localizado a la altura de la intersección de la calle Palma de Mallorca y la Av. Costanera, entre los balnearios La Larga y Costa Corvinas, a unos 200 m de la desembocadura del arroyo Los Patos que limita con la localidad de Camet Norte. Presenta un ancho total de playa de 62 m con una pendiente general de $3,3^\circ$. El desarrollo de la playa distal es notable con un ancho que alcanza los 52 m y una pendiente de casi 3° . Se reconocen restos de dunas colgadas parcialmente degradadas, estables y vegetadas que alcanzan una altura de poco menos de 2 m y un ancho apenas mayor (Figura 7). La alteración antrópica del perfil, al igual que en los anteriores, es intensa y está asociada a la degradación de las dunas colgadas para la construcción de la Av. Costanera, los balnearios y otras edificaciones costeras. Además, se identifica la presencia de carpas y cercos de madera sobre la playa distal. El acantilado pierde expresión en este sector y no se identifica ningún revestimiento artificial. La playa frontal posee apenas 10 m de extensión y su pendiente es de $5,2^\circ$.

Perfil D

Este último presenta una altura de 3,40 m y sobre su techo se distinguen relictos del antiguo campo de dunas colgado. Las dunas estabilizadas tienen aproximadamente 0,7 m de altura. Se diferencian pilares de entre 1 y 2 m de altura sobre la playa distal, remanentes de la erosión rápida producida por la acción del oleaje.

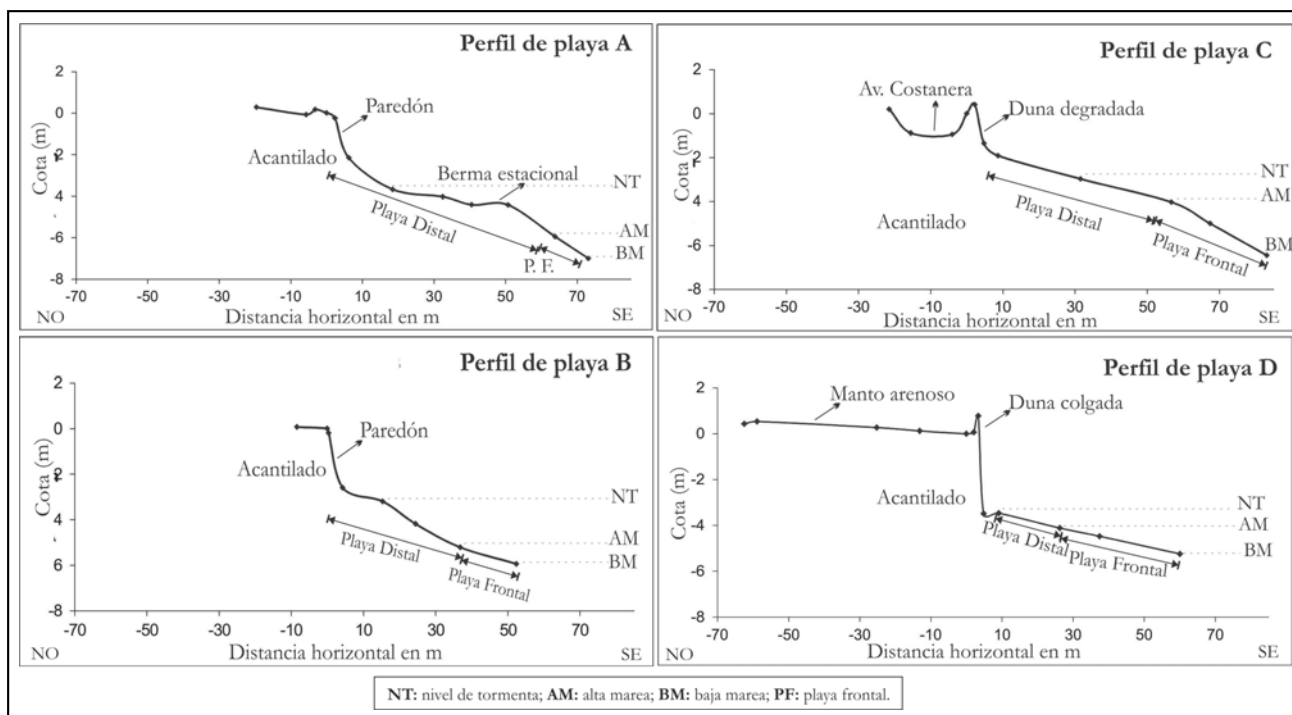


Figura 7. Perfiles de playa a igual escala a modo de comparación. Se detallan niveles de tormenta (NT), alta marea (AM), baja marea (BM), playa frontal (PF) y las direcciones de los perfiles (NO-SE).

Tabla 1. Parámetros de los perfiles de playa. Notar la influencia positiva (+) o negativa (-) de los espigones en cada perfil.

Perfil	Pendiente (°)			Ancho de playa (m)			Presencia de bermas		Tipo de costa			Defensa costera que influye en la zona de playa	
	Playa total	Playa distal	Playa frontal	Playa total	Playa distal	Playa frontal	Estables	Estacionales	Acantilada	Dunas	Acantilada con dunas colgadas	Paredón vertical	Espigón
A	4,15°	3,77°	6,5°	66,9	57,61	9,29		SI	SI			SI	SI (+)
B	3,98°	4,61°	2,67°	48,09	32,52	15,58			SI			SI	SI (+)
C	3,33°	2,95°	5,2°	62,67	51,93	10,74					SI		SI (+)
D	1,81°	1,66°	1,91°	55,19	21,38	33,81					SI		SI (-)

Hacia el norte de la localidad de Santa Clara del Mar y Camet Norte el campo de dunas colgado presenta signos de degradación. El ancho de playa está influenciado por la presencia de los espigones, los cuales retienen mayor cantidad de sedimentos hacia el sur. A pesar de que los anchos de playa total mantengan valores elevados (entre 48 y 66 m), el ancho de playa distal se modifica considerablemente en base a la influencia de las estructuras de defensa costeras: mientras que en los perfiles A, B y C los valores se ubican entre 32 y 57 m, el mismo valor cae a 21 m en el perfil D en donde la influencia de los espigones es negativa. Si bien dichas estructuras aumentan las tasas de acumulación localmente, hacia el norte (Perfil D) disminuye el ancho de playa distal y desaparece la berma estacional. Por otra parte, las pendientes de playa total disminuyen hacia el norte, pasando de 3° y 4° a menos de 2° (Tabla 1).

Estas variaciones en los anchos de playa influyen directamente en su uso como recurso turístico ya que en episodios de alta marea la gran reducción de la playa distal (playa seca) condiciona la instalación de carpas, balnearios y otras edificaciones.

Las variaciones en los anchos de playa (Figura 8) están enteramente relacionadas con la implementación de estructuras de defensa que favorecen la acumulación de sedimento al sur de acuerdo a la dirección de la deriva litoral. Es por ello que se distinguen mayores velocidades en el aumento del ancho de playa en aquellos sectores directamente ubicados bajo el radio de influencia de los espigones, que en esta zona oscila en promedio entre 100 y 150 m. La playa ha alcanzado anchos entre 70 y 130 m lo que representa valores muy por encima de los 20 m originales que se registraban para esta área costera. La tasa de avance promedio para los puntos analizados entre 1958 y 2009 es de 0,90 m/año, con máximos de 1,7 m/año al sur de los espigones. En los sectores ubicados deriva arriba de los espigones se registra un incremento del ancho de playa mucho más lento con tasas de 0,54 m/año y con anchos máximos de 50 m, que si bien no representan erosión indican una efectividad parcial de dichas estructuras (Tabla 2).

Tabla 2: Ubicación de cada punto de medición con las tasas de incremento del ancho de playa.

Punto	Ubicación	Incremento de ancho de playa (1958-2009)
1	Entre Av. del Arroyo y Málaga	0,59 m/año
2	Entre Gijón y Av. Bristol	0,54 m/año
3	Barranca de los Lobos	0,99 m/año
4	Entre San Francisco y Los Ángeles	1,70 m/año
5	Bilbao	0,84 m/año
6	Av. del Paso	0,76 m/año

Análisis del retroceso costero

La Figura 9 muestra los gráficos de retroceso costero para los perfiles nombrados de 1 a 6 de la Figura 2. En los mismos se puede observar un cambio de pendiente importante a partir del año 1975. Anteriormente al año 1975 la pendiente de la curva es mayor, lo que implica una mayor erosión costera; mientras que a partir de 1975, la pendiente de la curva disminuye, o sea se percibe una menor velocidad de retroceso. Esto marca dos períodos: uno, entre los años 1958 y 1975, donde el retroceso costero es natural, y un segundo período, entre 1975 y 2009, con menor retroceso debido a la presencia de estructuras de defensa.

El análisis de las tasas de retroceso costero natural muestra que entre los años 1958 y 1975 se registró en esta localidad un periodo erosivo importante cuya magnitud aumentaba de sur a norte desde 1,7 m/año en el punto 1 hasta 5,8 m/año en el punto 6. La zona de mayor erosión se extendía desde la calle La Habana hasta la Avenida Del Paso, alcanzando en el límite con Camet Norte un retroceso de 100 m en 17 años. El sector central de la costa presenta tasas de 2,35 m/año.

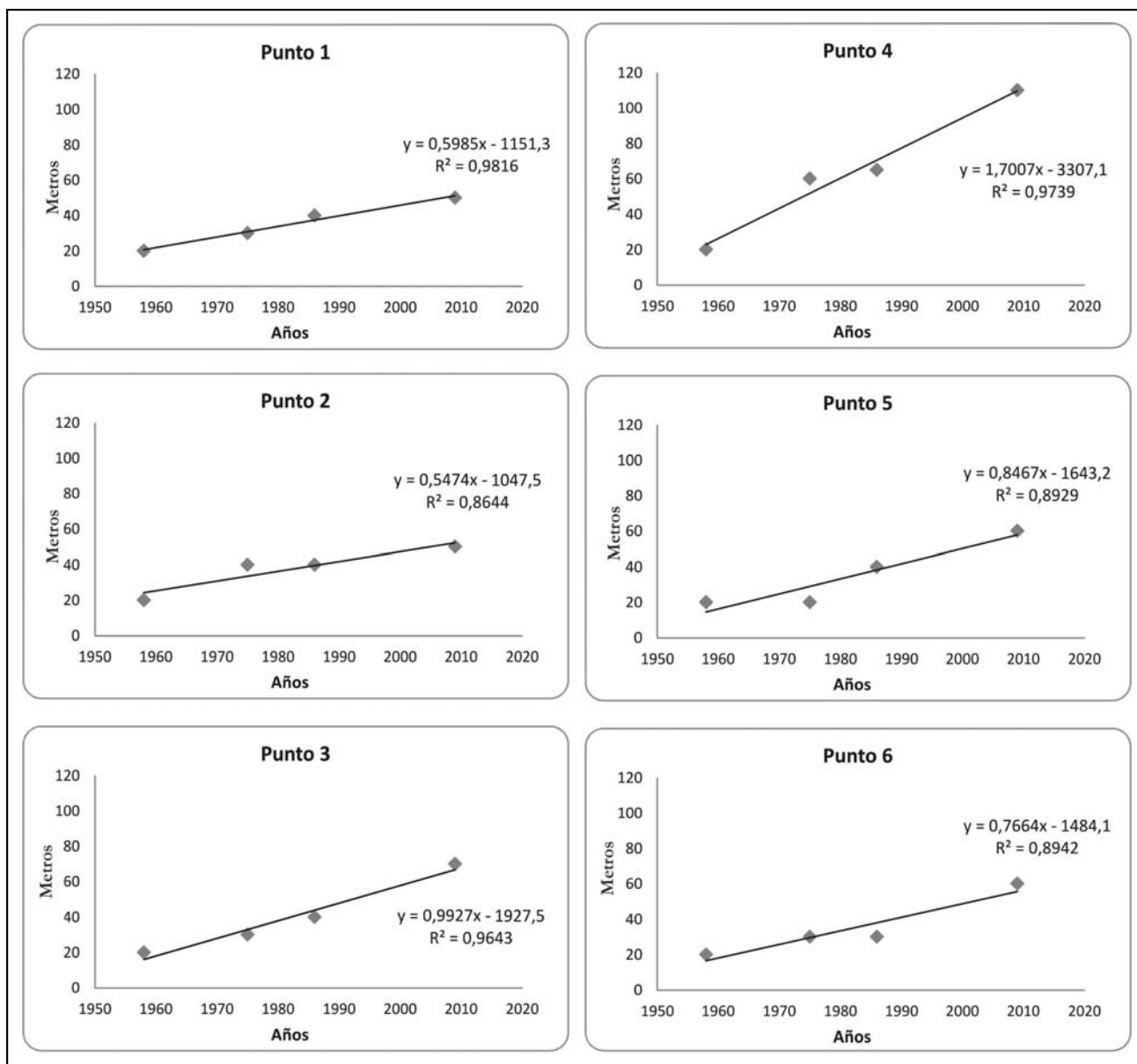


Figura 8. Curvas de regresión lineal que muestran el incremento del ancho de playa en Santa Clara del Mar obtenidas para cada punto de medición.

Con posterioridad al año 1975, las tasas de retroceso costero obtenidas no presentan cambios significativos, manteniéndose aproximadamente constantes en el tiempo (0,25 m/año). En algunos sectores (punto 1 y 3) las tasas se reducen fuertemente e incluso se detectan ligeros aumentos en las pendientes de las curvas producto del relleno y la reconstrucción del área costera para el trazado definitivo de la Avenida Costanera (Figura 9). Las tasas de retroceso entre los años 1975 y 2009 disminuyen notablemente (entre 0,09 y 0,97 m/año) producto de la instalación de las medidas de defensa, siendo nulas en los puntos 1 y 3 (Tabla 3).

En base a las tasas de retroceso históricas obtenidas entre los años 1958 y 1975 se zonifica la erosión costera en tres zonas: baja, moderada y alta erosión (Figura 10).

Tabla 3. Ubicación de cada punto de medición con las tasas de retroceso costero.

Punto	Ubicación	Retroceso (1958-1975)	Retroceso (1975-2009)
1	Entre Av. del Arroyo y Málaga	1,7 m/año	-
2	Entre Gijón y Av. Bristol	2,35 m/año	0,09 m/año
3	Barranca de los Lobos	2,35 m/año	-
4	Entre San Francisco y Los Ángeles	2,35 m/año	0,25 m/año
5	Bilbao	3,5 m/año	0,25 m/año
6	Av. del Paso	5,8 m/año	0,97 m/año

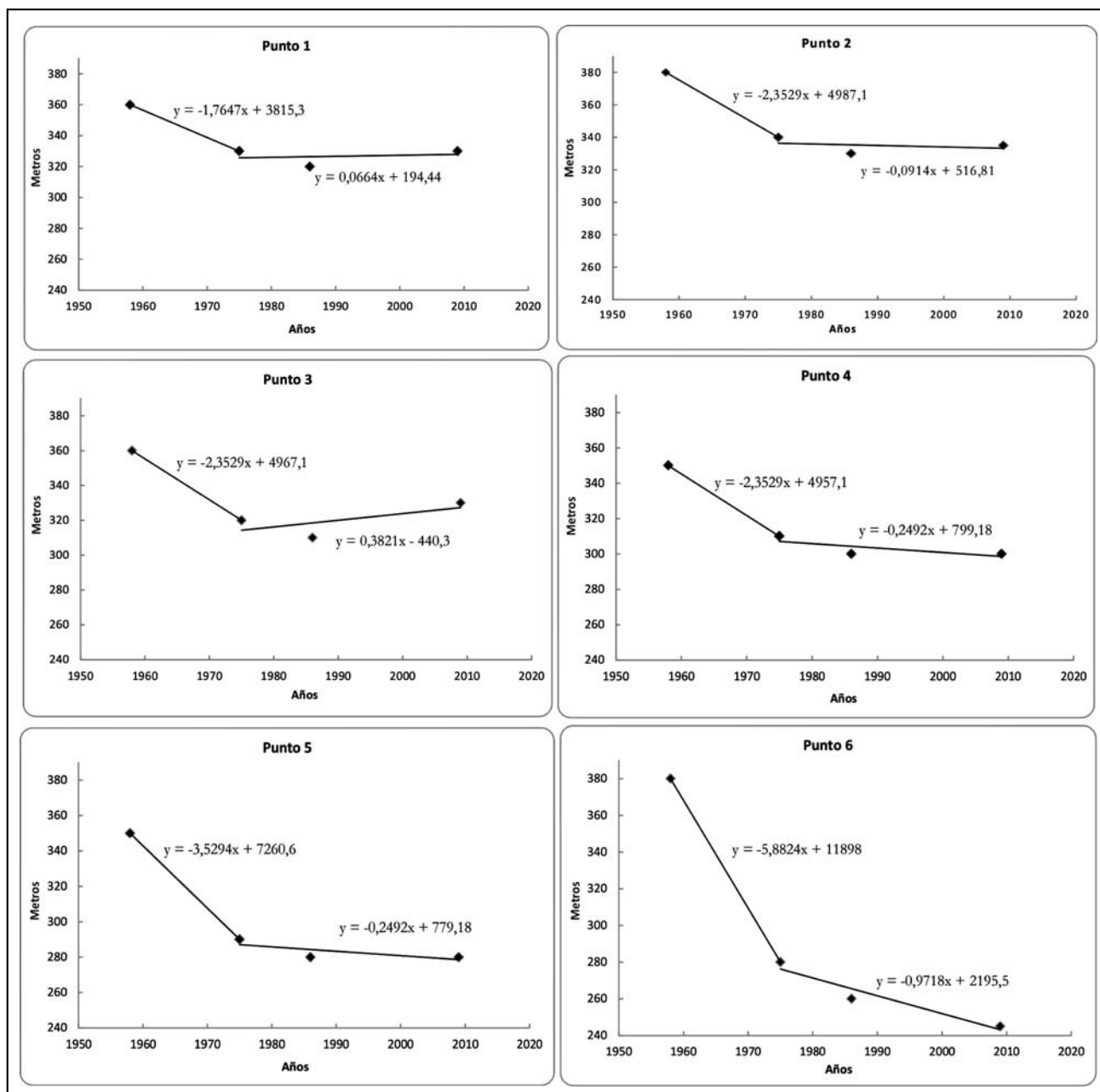


Figura 9. Curvas de regresión lineal de retroceso costero en Santa Clara del Mar obtenidos para cada punto de medición.

La zona de baja erosión (sector sur) se caracteriza por poseer velocidades de retroceso < 2 m/año. Se encuentra protegida por paredones verticales y se ubica entre la Av. del Arroyo y Lastres. La zona de erosión moderada (sector central) corresponde a un sector costero amplio con retrocesos entre 2 y 3 m/año ubicado entre las calles Lastres y La Habana. Dicho sector se encuentra protegido por los primeros espigones de defensa construidos y por los paredones verticales. Finalmente, la zona de mayor erosión (sector norte), se encuentra comprendida desde la calle La Habana hasta la calle Hipólito Irigoyen Sur en Camet Norte. Este último sector presenta velocidades de retroceso > 3 m/año, se encuentra desprovisto de cualquier tipo de defensa costera en la actualidad y bajo el efecto negativo de los espigones del sur, mientras que geomorfológicamente se encuentra asociado a la degradación casi total del campo de dunas colgado.

CONCLUSIONES

La localidad de Santa Clara del Mar ha crecido notablemente desde su inauguración en 1949, incrementando la población y la cantidad de turistas que veranean allí cada año. Es por eso que se ha vuelto de suma importancia la preservación y mantenimiento de la costa.

Como resultado del análisis geomorfológico evolutivo y la comparación de la morfología costera en los últimos 50 años se ha logrado diferenciar entre un período de retroceso natural de la costa previo al desarrollo urbanístico y un período de estabilización de la línea de costa asociado a la intervención humana. Las tasas de retroceso natural han permitido zonificar la costa de acuerdo al riesgo de erosión histórico para lograr mayor conocimiento de la dinámica original del sistema y focalizar la atención en el mantenimiento de las estructuras de defensa en aquellas zonas más vulnerables.

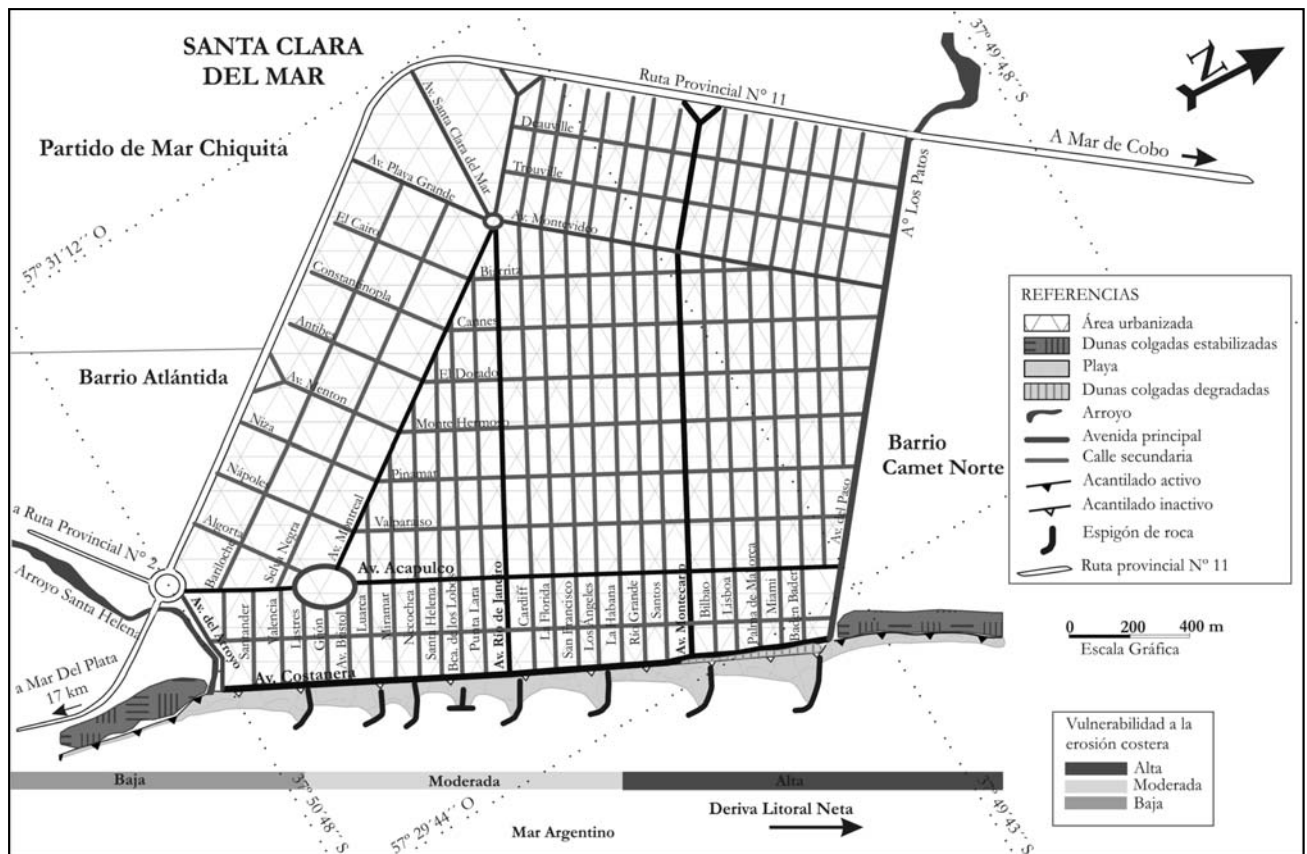


Figura 10. Mapa de zonificación de la erosión costera entre los años 1958 y 1975 para la localidad de Santa Clara del Mar y Camet Norte. Se representa la geomorfología y las obras de defensa costera al 2012 aunque debe considerarse que no existía este tipo de infraestructura durante la década de 1950.

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad local de las medidas de defensa implementadas ya que ha sido posible estabilizar la línea de costa, minimizando el retroceso, y ha aumentado en algunos sectores la playa (un recurso costero tan importante en esta zona). Sin embargo, resulta necesario mencionar que dicha estabilización de la costa y retención local de

sedimentos por parte de los espigones en Santa Clara del Mar produce una subsaturación de la corriente de deriva litoral. Esto traslada la problemática del proceso erosivo deriva abajo, afectando directamente en este caso, a la localidad de Camet Norte que presenta una tasa de retroceso continuo de 2,15 m/año y que ha perdido más de 110 m de frente costero desde 1958.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMEGUINO, E., 1889.

Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, VI (32): 1-1027. Buenos Aires.

BÉRTOLA, G.R. Y CORTIZO L.C., 2005.

Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 174-184.

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 (1): 31-57.

BIDEGAIN, J. C., OSTERRIETH, M. L., VAN VELZEN, A. J. Y RICO, Y., 2005.

Geología y registros magnéticos entre arroyo La Tapera y Santa Clara del Mar, Mar del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60-3, pp. 599-604.

BUNICONTRO, M. P., 2012.

Geología, dinámica costera y ordenamiento territorial en Santa Clara del Mar, municipio de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires.

Tesis Final de Licenciatura. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Inédito.

- FASANO J.L., ISLA, F. Y SCHNACK, E., 1984.
Significado paleoambiental de los depósitos del Pleistoceno Tardío de Camet Norte (Partido de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires).
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 39: 244-250.
- FASANO, J., 1991.
Geología y geomorfología, Región III, Faro Querandí-Mar de Cobo, provincia de Buenos Aires.
Informe Final para la Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costanera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones – Universidad Nacional de Mar del Plata, 118 pp.
- FIDALGO, E., DE FRANCESCO, O. Y COLADO, U., 1973.
Geología superficial en la Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (provincia de Buenos Aires).
5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27-39.
- FIORE, M., D'ONOFRIO, E. E., POUSA, J. L., SCHNACK, E. J. AND BÉRTOLA, G. R., 2009.
Storm surge and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina.
Continental Shelf Research.29, 1643-1649.
- FRENGUELLI, J.1945.
Las diatomeas del Platense.
Revista del Museo de La Plata, 3 *Paleontología* 16:77-221.
- GUZZI, J. 2006.
Capítulo: Contaminación costera bacteriana y balneabilidad.
Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Eds: I. Isla y C. Lasta. EUDEM, Mar del Plata, 149-165.
- ISLA, F. I., BÉRTOLA G., ZAMORA A., FALABELLA A., PÉREZ GUZZI J., 1997.
Estudio del sector de plataforma receptor de la descarga cloacal de Camet, Mar del Plata.
Convenio entre la UNMdP y OSSE. 238 pp.
- ISLA, F. I., PEREZ GUZZI, J., ZAMORA, A. Y FOLABELLA, A., 1998.
Aportes de coliformes a la costa de Mar del Plata (Argentina) por vías naturales e inducidas.
Revista Thalassas, Universidad de Vigo y de Sgo. De Compostela, 14, 63-70.
- ISLA, F. Y CASSANELLI, A., 1999.
Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata.
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología. Vol. 6, N° 1-2: 61-73.
- ISLA, F. I., BÉRTOLA, G. R., FARENGA, M. O. Y CORTIZO, L. C., 2001.
Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina.
Revista Pesquisas em Geociências, Universida de Federal do Rio Grande de Sul, 28, 1, 27-35.
- ISLA F.I. 2006.
Capítulo: Erosión y defensa costeras.
Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires. Eds: I. Isla y C. Lasta. EUDEM, Mar del Plata, 125-147.
- LANFREDI, N. W., POUSA, J. L., MAZIO, C. A. AND DRAGANI, W. C., 1992.
Wave-power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina.
Energy 17 (11):997-1006.
- LÓPEZ, R. A. Y MARCOMINI, S. C., 1998.
Manejo costero asociado a la erosión de playas en la Provincia de Buenos Aires.
X Congreso Latinoamericano de Geología: 373-377.
- LÓPEZ, R. A. Y MARCOMINI, S. C., 2000.
Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costero comprendido entre la ciudad de Miramar y el arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 55 (3): 251.264.
- LÓPEZ R. A., Y MARCOMINI S. C., 2002.
Pautas para el manejo de costas acantiladas y de dunas.
Revista Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente. 18: 59-68.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ, R. A., 1993.
Coastal Protection Effects at Buenos Aires, Argentina.
Coastal Zone 93. Nueva Orleans. U.S.A., III: 2724-2738.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ R. A., 1997.
Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.
Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología, vol. 4 n° 2: 79-96.
- MARCOMINI, S. C. Y LÓPEZ, R. A., 2005.
Morfodinámica costera entre Punta Florida y Costa Bonita, provincia de Buenos Aires.
XVI Congreso Geológico Argentino, III, 553-558, La Plata.

- MARCOMINI, S. C., LÓPEZ, R. A. Y SPINOGLIO, A., 2007.
Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 62 (3): 396-404.
- MERLOTTO A., VERÓN, E. Y SABULA, F., 2008.
Riesgo de erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita.
Párrafos Geográficos (7) 1: 103-121.
- RIGGI, J. C., FIDALGO, F., MARTINEZ, O. Y PORRO, N., 1986.
Geología de los sedimentos pampeanos en el área de la Plata.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 44 (3-4): 316-333.
- RODRIGUEZ, R., CAZENAVE, G., Y GALVANI, G., 2008.
Proyecto SIG de Estadísticas Agroclimáticas. Serie 1971-2000.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disponible en <http://geointa.inta.gov.ar/SIGAGROC>.
Último acceso diciembre de 2011.
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL (2000 Y 2011).
Tablas de marea.
Disponible en http://www.hidro.gov.ar/Oceanografia/Tmareas/Form_Tmareas.asp. Último acceso diciembre de 2011.
- SCHNACK, E., FASANO, J., E ISLA, F., 1982.
The evolution of Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires province, Argentina.
In: Holocene Sea Level Fluctuations, Magnitude and Causes (Colquhoun, D.J., ed.) IGCP-INQUA, 143-155.
- 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.
Simpósio: Oscilaciones del nivel del mar durante el último hemisiciclo deglacial en la Argentina, Mar del Plata, Actas: 118-130p.
- SCHNACK, E. J., ISLA, F. I., DE FRANCESCO, F. O. Y FUCKS, E. E., 2005.
Estratigrafía del cuaternario marino tardío en la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata 2005. Cap X: 159-182.
- SPALLETTI, L. Y MAZZONI, M., 1979.
Características granulométricas de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1): 12-30.
- TASSARA, D. Y GARCÍA, M., 2005.
Erosión marina, vulnerabilidad e impactos antrópicos en el sudeste bonaerense (Municipio de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires, Argentina).
Revista Tiempo y Espacio. Universidad del Bio-Bio. Chile. Año 12, N° 5.
- TERUGGI, M., 1959.
Las arenas de la costa de la provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca.
Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas. Ministerio de Obras Públicas. Serie II N° 77. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- ZÁRATE, M., 2005.
El Cenozoico Tardío continental de la Provincia de Buenos Aires.
Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, 2005. Cap IX: 139-158.