

EROSIÓN Y MANEJO COSTERO EN LAS TONINAS, PARTIDO DE LA COSTA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Silvia C. MARCOMINI y Ruben A. LÓPEZ

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. E-mail: scm@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

Muchas comunidades costeras han experimentado un crecimiento urbano muy rápido desde 1970, por la construcción de grandes condominios y edificaciones frente al mar, calles y otros rasgos urbanos que han alterado el balance sedimentario en la zona costera, provocando en consecuencia un aumento en la erosión. El objetivo del presente trabajo es el de aportar una nueva metodología para estimar la vulnerabilidad a la erosión costera, reconociendo los rasgos geológicos costeros más susceptibles a ser alterados ante la intervención antrópica en estos modelos de costas de dunas. El mismo consiste en el desarrollo de una matriz ambiental en la que se consideran parámetros tales como conservación de la duna costera, erosión costera y de playa, la erosión por drenajes pluviales y los ciclos naturales de la playa. El análisis muestra que el sector norte de la localidad de Las Toninas, entre las calles 4 y 10, es el de mayor vulnerabilidad a la erosión, entre calles 10 a 18 la vulnerabilidad es moderada y de la 18 a 50 es baja. La mayor vulnerabilidad a la erosión registrada en la zona norte se debió a una explotación minera que cesó hace varios años. La mayor erosión vertical (socavamiento) registrada fue de 1,33 m en la playa frontal y de 1,2 m en la playa distal. Estos parámetros obtenidos a lo largo del perfil de playa deberán ser tomados como márgenes de seguridad para el diseño de estructuras asentadas sobre la playa.

En cuanto al manejo costero, en las zonas definidas como de alta vulnerabilidad a la erosión, las tareas de protección, reconstrucción y mitigación no han resultado eficientes por lo cual deberá considerarse seriamente la demolición de las propiedades que ocupan el frente costero. En las zonas determinadas como de erosión moderada a baja, aún es factible realizar tareas de remediación a bajo costo y con buen grado de eficiencia.

Palabras clave: *Erosión, impacto ambiental, manejo costero, geomorfología costera.*

ABSTRACT: *Erosion and coastal planning in Las Toninas, Partido de La Costa, Province of Buenos Aires.* Many coastal communities experienced dramatic growth by the end of 1970s, with the construction of high-rise condominiums, buildings, roads and related features on the ocean front. The purpose of this paper is to supply a new methodology of analysis for environmental impact evaluation in coastal areas based on the most susceptible geological features to natural and anthropogenic changes. It consists on the development of an environmental matrix with the analysis of different parameters such as dune conservation, coastal and beach erosion, beach configuration, runoff and beach natural cycles. The analysis shows that the northern sector of the locality, between streets 4 and 10, has the highest vulnerability, the coastal area between 10 and 18 has a moderate vulnerability and the southern sector between 18th and 50th street present a low vulnerability to erosion. The highest values obtained for the northern coast were due to sand mining which stopped several years ago. The vertical erosion determined was 1.33 m on the foreshore and 1.2 m on the backshore. This vertical area on the beach profile should be considered as a security margin to design future constructions on the beach. Considering the coastal management, in the coastal zones defined as of high vulnerability to erosion no protection or mitigation works have been effective, and the properties located on the ocean front should be relocated. In the areas identified as of moderate or low vulnerability to erosion, are still feasible remediation tasks at low cost and good efficiency.

Keywords: *Erosion, environmental impact, coastal planning, coastal morphology.*

INTRODUCCIÓN

El trabajo aporta una nueva metodología de evaluación basada en los rasgos geomorfológicos costeros susceptibles a ser alterados frente a modificaciones naturales o antrópicas, con el fin de determinar la vulnerabilidad de la playa a la erosión.

Esta metodología fue diseñada sobre la base de los modelos morfodinámicos desarrollados a partir de perfiles relevados en la zona de estudio, para cuantificar y monitorear la evolución costera a mesoescala. Este análisis es de gran utilidad, asimismo, para dar pautas para el ordenamiento territorial en el ámbito costero con el fin de

regular, controlar y planificar futuros emprendimientos o proyectos urbanísticos municipales, provinciales o privados que pudieran afectar a la playa. Entre ellos podemos mencionar la construcción o licitación de nuevas unidades balnearias, puertos deportivos, muelles, establecimientos industriales o instalación de nuevas tecno-

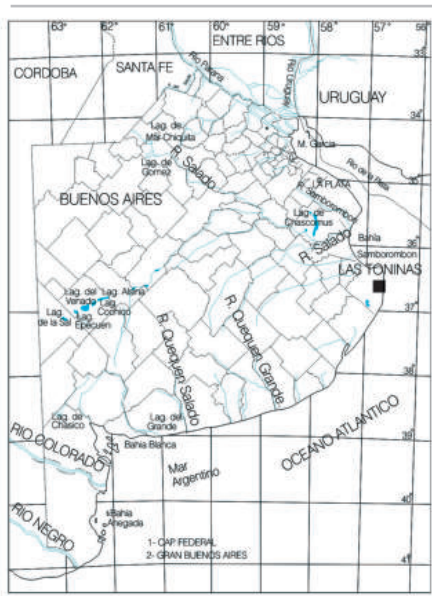


Figura 1: Mapa de ubicación.

logías de comunicación en la playa.

La localidad de Las Toninas (Fig. 1) pertenece al partido de La Costa, que se encuentra en el sector centro-este de la provincia de Buenos Aires, 320 km al sur de la ciudad homónima, ocupa una superficie de 7 km² a lo largo de 4 km de costa. La misma posee una población estable de 1.624 habitantes, la cual se incrementa durante los períodos veraniegos. La principal actividad socioeconómica de la población es el turismo por lo que resulta indispensable para los habitantes conservar intacto el principal recurso natural que es la playa. El promedio de viviendas ocupadas durante todo el año es de 3,4 % y la mayor concentración de viviendas se desarrolla en las cercanías a la costa. Durante el verano se produce una importante migración interna hacia esta ciudad aumentando el requerimiento de agua y servicios públicos.

Las localidades balnearias que componen el partido de la Costa presentan patrones urbanos comunes. En general se han caracterizado por una urbanización en cuadrícula perpendicular a la costa. Asimismo para la construcción de casas y avenidas se ha modificado la topografía natural con nivelaciones del terreno previas a la etapa constructiva sobre el campo de

dunas, provocando el consecuente cambio en los drenajes naturales.

Los principales impactos que ha producido el hombre modificando el ambiente costero por urbanización son: loteos en cuadrícula, calles perpendiculares a la línea de costa, asfaltado, encauzamiento de la escorrentía superficial en las calles que desembocan en la playa, impermeabilización de la superficie, cambio de la morfología natural, depredación de la duna costera, fijación de la duna costera y extracción de arena de los sectores de playa. La incidencia de una o más de estos impactos, con distinta intensidad, provocan fenómenos de erosión costera de variada magnitud.

METODOLOGÍA

El objetivo del trabajo es generar una matriz para evaluar el impacto erosivo que sufre la localidad de Las Toninas con el fin realizar una planificación urbana adecuada para la conservación del recurso natural. Para la confección de dicha matriz ha sido necesario relevar datos que puedan caracterizar el ambiente a diferentes escalas de trabajo. Se ha trabajado a micro y mesoescala.

Para el análisis decenal se ha realizado un estudio geomorfológico comparativo basado en fotografías aéreas de los años 1964, 1991 e imágenes 2005 de Google Earth. Para el cálculo de la velocidad de retroceso de la línea de costa se han tomado puntos fijos en fotografías aéreas de los años 1964, 1991 y se compararon con los relevamientos actuales. Por análisis con curvas de regresión lineal se han calculado las velocidades de retroceso para distintos sitios distribuidos a lo largo de la costa analizada.

Para estimaciones de modificaciones ambientales a menor escala se han relevado perfiles topográficos perpendiculares a la línea de costa desde el año 1998, tomando un punto fijo de referencia, con el fin de caracterizar el comportamiento de la playa a micro y meso escala. Estos perfiles han sido monitoreados en las calles 8, 22 y 50. Para analizar el volumen de are-

na movilizado y las variaciones morfológicas del perfil de playa durante el ciclo normal de marea de 28 días se relevaron perfiles a intervalos de 4 días de medición para determinar los socavamientos máximos en los distintos subambientes durante condiciones normales. Para cuantificar los cambios estacionales y extremos se empleó el monitoreo de los perfiles anuales desde el año 1998 al 2009.

RESULTADOS

Geomorfología y morfodinámica

El clima de la región es húmedo, mesotermal, con déficit de agua nulo ó pequeño. La temperatura media anual durante 1991-2000 fue de 16,3 °C con valores medios máximos de 22,8 °C en enero y valores medios mínimos de 9,2 °C en julio. Los registros de precipitación mostraron un promedio anual de 970 mm, siendo noviembre el mes con las máximas precipitaciones medias con 116 mm y junio con las mínimas de 45 mm. Los excesos hídricos fueron del orden de los 162 mm durante cuatro meses.

El análisis de la frecuencia y dirección de los vientos (reducidos a escala de 1000) evidenció un predominio de vientos del noreste (249), del norte (171) y sur (141). Con menor frecuencia, se registraron vientos del este (119), oeste (99), noroeste (86), sudeste (77) y sudoeste (58). La frecuencia de calmas fue de 170. La velocidad media anual del viento para el período considerando fue de 14,4 km/h, siendo la primavera y el verano las estaciones con las mayores velocidades medias. (Estación Meteorológica Santa Teresita 2000).

Las mareas muestran un régimen semi-diurno con desigualdades diurnas cuya amplitud media varía entre 1,49 m (sicigia) y 0,76 m (cuadratura) (SHN 2009). Los valores extremos para pleamares son entre 0 y 240 cm y en bajamares entre -40 y 160 cm, (Perillo 1979).

El paisaje de la región es poligenético y ha sido modelado en mayor medida por los procesos marino y eólico. La costa se asienta sobre una espiga del Holoceno

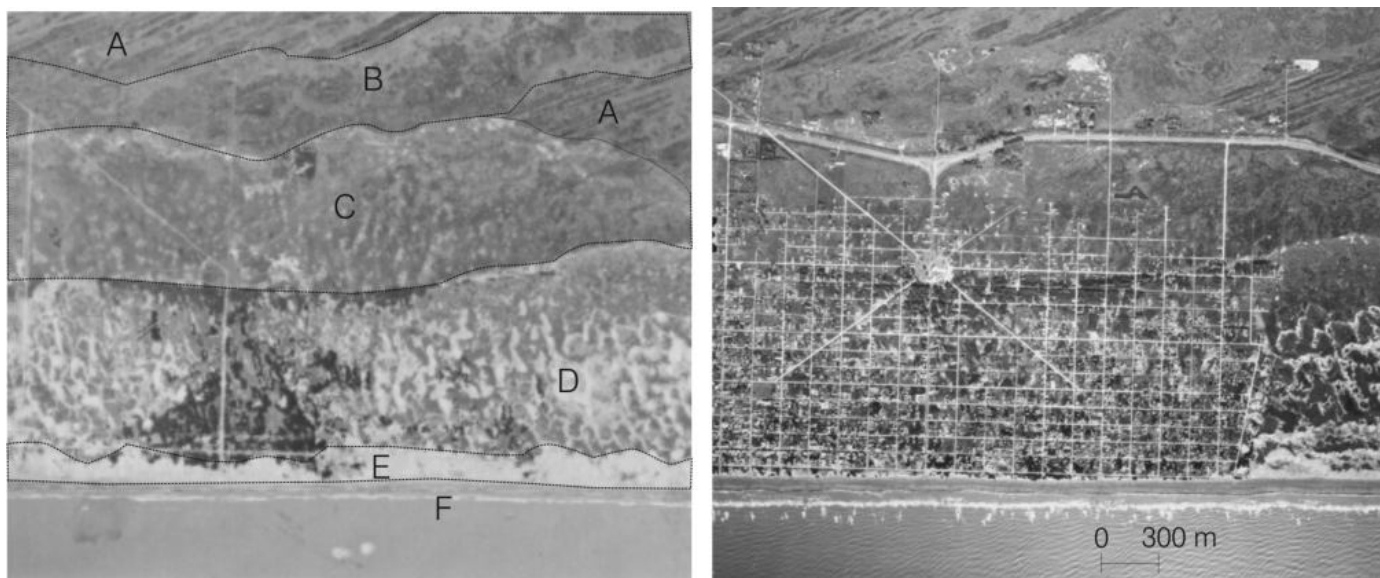


Figura 2: Distribución espacial de las unidades geomorfológicas diferenciadas. Se muestran a la izquierda la fotografía aérea del año 1964 y a la derecha la de 1991. En la imagen de la izquierda se muestran las unidades morfológicas definidas A. Cordones litorales. B. Campos de dunas aislados sobre cordones, C. bajos con mantos de arena y dunas aislada, D. Dunas semiactivas E. Duna costera y F. Playa. La imagen de la derecha muestra el importante desarrollo urbano y la estabilización y modificación del campo de dunas en esos 27 años.

inferior, que ha progradado hacia el norte durante los últimos 5.000 años, (Violante *et al.* 2001). Los diferentes procesos han dado lugar a la formación de una serie de unidades geomórficas entre las que se destacan los cordones litorales (Facies Mar de Ajó) que componen la espiga progradante hacia el norte y constituyen un nivel de terraza de acreción marina. Sobre los mismos se reconocen los campos de dunas semiactivos e inactivos integrados por campos de dunas aislados sobre cordones y bajos con mantos de arena. Estas unidades se distinguen en la figura 2 y se describen a continuación. La terraza de acreción marina (A, Fig. 2), que se extiende hacia el oeste, está constituida por un conjunto de cordones litorales (Fig. 2) de rumbo NO, los cuales se hallan en buen estado de conservación. Presentan una longitud de onda variable entre los 40 y 60 m y están totalmente edafizados y vegetados en forma diferencial entre crestas y senos de dicha morfología. Están integrados por sedimentos arenosos cuya moda corresponde al intervalo granulométrico arena fina. El proceso fluvial modificó la morfología superficial de este nivel de terraza conformando sistemas de bajos elongados

paralelos a la lineación de los cordones. Asimismo se distinguen cursos fluviales con diseño rectangular controlados por la presencia de dicha morfología.

En el campo de dunas se han podido diferenciar dos tipos de campos de dunas dependiendo de la estabilidad, un campo inactivo y otro semiactivo.

En el campo inactivo se diferenciaron dos unidades morfológicas. Las dunas aisladas sobre cordones y los mantos de arena y dunas en depresiones.

Las dunas aisladas sobre cordones se reconocen en el sector occidental (B, Fig. 2), sobre el nivel de terraza de acreción. Estas dunas se disponen en franjas paralelas a la disposición de los cordones. Se observaron dunas parabólicas complejas con superposición de dunas en voladura (*blow out*) y mantos de arena.

La unidad definida como mantos de arena y dunas en depresiones (C, Fig. 2) constituye un sector deprimido e inundable y ocupan la zona transicional entre la terraza de acreción marina y la cadena de dunas costeras. Son bajos que han sido invadidos por dunas y dadas las mayores condiciones de humedad se han vegetado más rápidamente. Los sectores más deprimidos presentan abundante vegeta-

ción. Sobre los bajos y en forma discontinua se observan dunas de escaso desarrollo y mantos de arena que en muchos casos elevan la superficie de los bajos.

El campo semiactivo (D, Fig. 2) se diferencia del anterior porque las morfologías presentan actividad eólica (es decir crecen, disminuyen o modifican sus morfologías en años), pero tienen muy poca movilidad. Este campo posee una extensión de aproximadamente 1 km. En la fotografías de 1964 (D, Fig. 2) se observa que el mismo está en un estadio de degradación. Se distinguen crestas de dunas degradadas con una lineación principal oeste-sudeste y este-noreste. En las fotografías de 1991, luego de 27 años, las morfologías se han transformado en dunas parabólicas complejas cuyos espacios interdunales están totalmente vegetados y edafizados. Se diferencian en el sector oriental dunas subparalelas a la línea de costa actual definidas por López (2009), como crestas eólicas de borde. La superficie de estas dunas está parcialmente vegetada y presenta una edafización muy incipiente. Estas dunas tienen 20 m de ancho y entre 2 y 3 m de altura y están integradas por arena fina. En la superficie de las mismas es frecuente encontrar dunas en voladura



Figura 3: Perfil tipo de playa en la localidad de Las Toninas. Se puede diferenciar la baja pendiente de la playa, la presencia de barras de lavado y la línea de pleamares extraordinarias que alcanza el pie de duna.

(*blow out*). Esta unidad refleja el activo proceso de degradación que han sufrido estos campos en un periodo decenal con una tendencia natural marcada hacia la estabilización. La urbanización asimismo ha incrementado esta tendencia.

La duna costera (E, Fig. 2), presenta anchos variables de la playa hacia el continente que oscilan entre 40 y 200 m y ha sido fuertemente alterada de sus condiciones naturales por la presión urbanística. El ancho de la duna disminuye notoriamente en los sectores urbanizados de Las Toninas y prácticamente desaparece al norte de esta localidad, entre las calles 4 y 10.

Las dunas costeras originarias no presentaban una morfología definida y el ancho era de aproximadamente 150 m. Actualmente en los sectores urbanizados de Las Toninas conforman un cordón de aproximadamente 50 m de ancho que culmina hacia el continente en la avenida costanera y se eleva a una cota de 4,5 m de alto desde el pie de duna.

La duna costera natural no presentaba vegetación o en algunos casos estaba asociada a gramíneas (*Spartina coarctata*, *Panicum racemosum*). Actualmente la duna

se halla vegetada en gran medida con especies arbóreas, (*Tamarix gallica*) (Fig. 3), las que cambian notoriamente la dinámica de la duna costera por interrumpir el intercambio natural de arena entre la duna y la playa.

Morfodinámica de playa

Las playas de Las Toninas están expuestas a la acción del oleaje, con dos direcciones principales de incidencia de los trenes de olas provenientes del sur y sureste, lo que origina una corriente de deriva litoral neta hacia el noreste. Perillo (1979), reconoció para el sector de Punta Médanos, olas de mar de fondo con períodos mayores a los 8 seg, con áreas de generación lejanas, asignadas a un centro ciclónico ubicado entre los paralelos 50° y 60° S. Este sistema puede migrar hasta los 20° S, donde existen vientos de 150 km por hora durante gran parte del año. Un segundo grupo, con períodos de 4 a 6 seg, posee áreas de generación cercanas o en la misma costa.

Las playas presentan pendientes de 1 a 2 grados y están constituidas por arena fina a mediana. Los perfiles de playa tienen

una configuración semejante a la descrita por Spalletti (1980), donde pueden diferenciarse los distintos subambientes: playa distal (*backshore*), playa frontal (*fores-bore*) y cara de playa (*shoreface*) adaptados a las condiciones hidrodinámicas que afectan la morfología de cada subsector, rompiente (*breaker*), zona de deslizamiento (*surf*), y zona de lavado (*swash*). El perfil de playa de Las Toninas (Fig. 3) se caracteriza por presentar un ancho variable de 80 a 100 m desde la línea de baja marea media hacia la duna y una pendiente media de 0,015. No se reconocen bermas estables ni estacionales en ningún período del año. El perfil de playa es rectilíneo y es frecuente observar barras de lavado de 30 m de ancho y 30 a 50 cm de alto que migran hacia la playa distal. La playa frontal está asociada al sector intermareal y presenta en estos perfiles pendientes de 0,02 y anchos de 50 m. La playa frontal está sometida a la acción hidrodinámica del lavado (*uprush*, *backwash*) y del deslizamiento (*surf*) dependiendo del estado de marea y de las condiciones de tormenta. Es importante destacar el concepto de variación espacial y temporal en la hidrodinámica que sufre este subambiente de playa, fundamentalmente debido a la migración continua entre condiciones subaéreas (lavado) y subaéreas (eólico).

Los ciclos de variación reconocidos para las playas de Las Toninas, coinciden por los establecidos por Komar (1976), quien reconoce cambios en los perfiles de playa asociados al oleaje (*swell*) y a las tormentas. Estos ciclos pueden ocurrir en períodos cortos, horas o días o a largo plazo, pero el perfil está siempre sometido a un constante estado de cambio.

Los perfiles asociados al oleaje (*swell*), se desarrollan bajo condiciones de olas de gran longitud de onda y de baja pendiente. Se produce la movilización de sedimentos de profundidad hacia la playa. Las olas (*swell*) producen agradación, una barra amplia, un perfil suavizado y una pendiente abrupta en la cara de playa. No se distinguen barras a lo largo de la costa.

La otra variación importante en la morfología de los perfiles de playa es la ac-

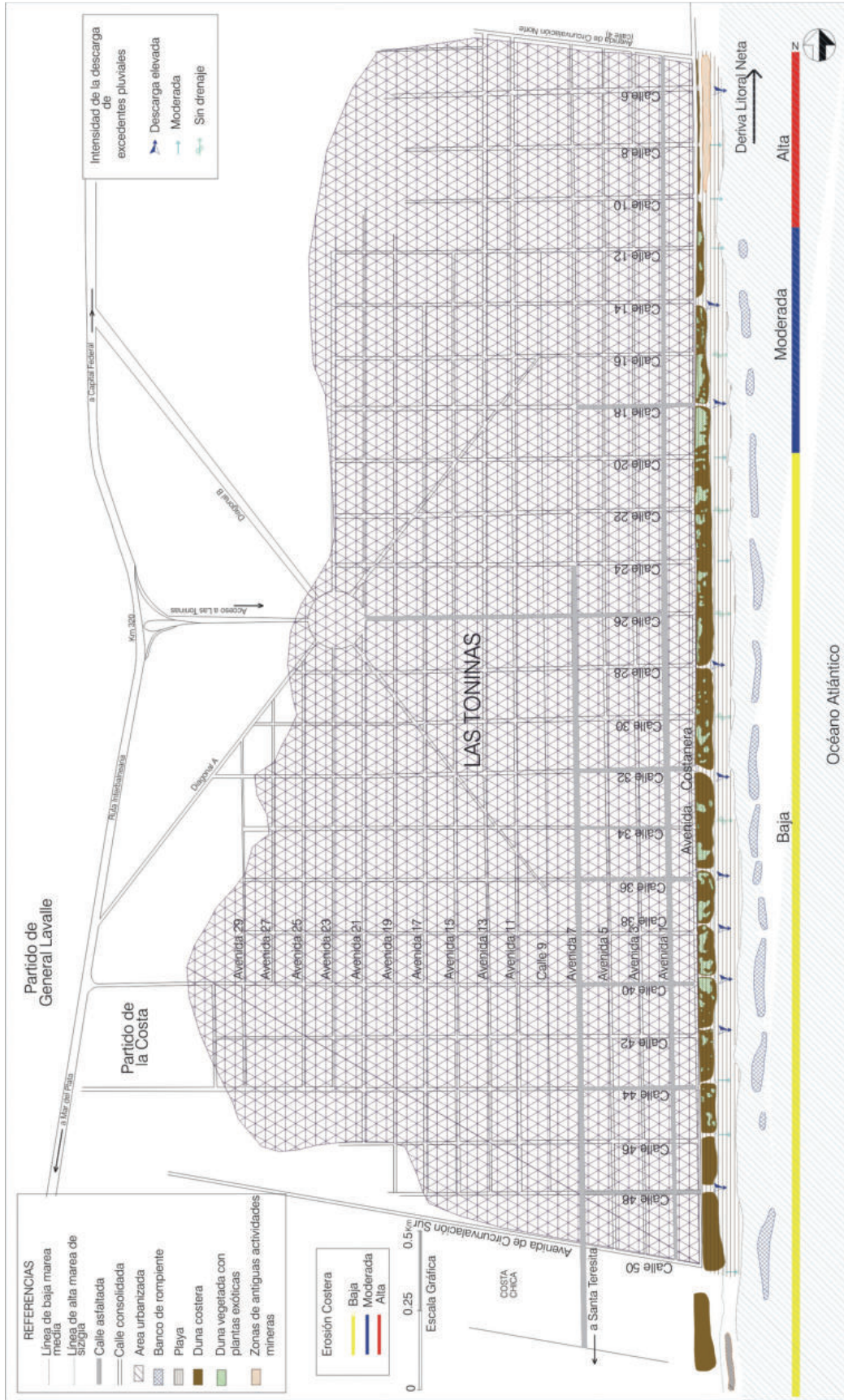


Figura 4: Mapa de vulnerabilidad a la erosión para la localidad de Las Toninas.

ción que ejercen las tormentas (*storm surges*), asociadas con olas de corta longitud. En la costa estudiada, estos episodios de tormenta se corresponden con la acción de las sudestadas, las cuales, además de incrementar la acción erosiva del oleaje, producen un importante ascenso en el nivel medio del mar. Por consiguiente: erosionan la playa frontal, movilizan las bermas, disminuyen la pendiente de la playa frontal y producen barras en la zona de transformación (*offshore*) bajo condiciones de gran transporte litoral.

Las olas de tormenta transportan el material a la zona de transformación, provocando erosión de la playa emergida y una barra de arena en la zona de deslizamiento que constituye un reservorio de arena natural. Las olas posteriores a la tormenta movilizan la barra de arena hacia el continente y muchas veces las mismas emergen en la cara de playa.

En las playas estudiadas las variaciones morfológicas asociadas a los cambios en las condiciones hidrodinámicas (olas y tormentas) evidencian una ciclicidad anual en aquellos sectores costeros que mantienen sus condiciones naturales (Marcomini y López 1997a). Durante la primavera-verano, donde la acción de las sudestadas es más frecuente e intensa (Servicio de Hidrografía Naval 1999), prevalecen las condiciones erosivas. Durante el otoño-invierno se observa la entrada de material de sur a norte, es decir en el sentido de la deriva, constituyendo barras de lavado que posteriormente forman barras estacionales. Sin embargo, en los sectores alterados el equilibrio no se restablece con esa marcada ciclicidad. La destrucción y/o edificación de la duna costera no permite la recuperación subaérea de la playa, fundamentalmente por acción eólica. Por consiguiente, durante las tormentas, disminuye considerablemente el nivel de la playa y gran parte del material migra hacia la zona de transformación sin constituir la barra de rompiente.

Análisis de erosión costera

En la playa la erosión se puede descomponer en dos coordenadas, x u horizon-



Figura 5: Comparación fotográfica de la recarga artificial en la zona de alta erosión de las Toninas en el año 2007. La figura A muestra la recarga en enero del 2008, pueden distinguirse aún las estacas en el frente (1) y la duna recargada y la casa tomada como referencia (2). La figura B muestra la pérdida de la recarga el 22 de Julio de 2009, y un retroceso del pie de dunas de unos 11 m.

tal que representa el desplazamiento de la línea de costa e y que se interpreta como el descenso en el nivel de la playa. En este análisis consideraron dos tipos de alteración por erosión, una de ellas es la erosión horizontal de la base de la duna

costera (retrocesos de la costa) y la otra es el descenso vertical del nivel de playa (socavamiento).

Erosión horizontal por retrocesos de la duna costera: por generación de escarpas de erosión durante tormentas. Para estimar este

CUADRO 1: Valores de descenso vertical máximos (socavamiento) registrados para los subambientes de playa frontal y distal en periodos normales, estacionales y de tormenta.

Erosión vertical (cm)		
Ciclos naturales	Playa distal	Playa frontal
Mensuales	0	50-60
Estacionales	30	40-70
Episódicos. Eventos	20-120	30-133
Paroxísmicos (tormenta)		

CUADRO 2: Ponderación de la erosión costera

Erosión de costas		
Retroceso (m/año)	Ponderación	Clasificación
0	0	Nula
< 0,5	1	Muy baja
0,5-1	2	Baja
1,5- 2	3	Moderada
> 2	4	Alta

CUADRO 3: Ponderación de la erosión de playa empleando el modelo con los estadios definidos por Marcomini y López (1997, 2007).

Grado de erosión de playa		
Estadios morfodinámicos	Ponderación	Clasificación
A	0	Sin erosión
B	1	Muy Bajo
C	2	Moderado
D	3	Alto
E	4	Muy alto

parámetro se trabajó con fotogramas aéreos de distintos años y mediciones efectuadas en la actualidad. Se estimó un retroceso de la línea de costa (pie de duna) de aproximadamente -1m/año.

Erosión vertical por disminución del nivel de playa: Se analizó el comportamiento de la erosión vertical de la playa teniendo en consideración los ciclos de cambios natural en el perfil de playa.

Los ciclos considerados fueron (Cuadro 1): *Mensuales:* Se analizó un ciclo normal de marea de 28 días a intervalo de 4 días de medición para determinar las variaciones morfológicas de perfil de playa y cuantificar los volúmenes de arena movilizados y los descensos verticales máximos en los distintos subambientes durante condiciones normales (sin tormentas). No se observó variación en la morfología de la playa distal, mientras que en playa frontal

CUADRO 4: Matriz de vulnerabilidad a la erosión costera para la localidad de Las Toninas. La vulnerabilidad a la erosión costera ha sido clasificada como *Alta*, cuando el índice de vulnerabilidad es mayor o igual que 10, *Moderada* cuando el índice oscila entre 8 y 10 y *Baja* si es menor que 8.

Calle	Erosión de Costas	Conservación de la duna costera	Erosión de Playa	Erosión por desagües pluviales sobre la playa	Valoración de la vulnerabilidad a la erosión	Clasificación
4	4	3	4	1	12	Alta
6	4	3	4	2	13	Alta
8	4	3	4	1	12	Alta
10	4	2	4	1	11	Alta
12	3	2	4	1	10	Moderada
14	3	2	3	2	10	Moderada
16	3	2	3	0	8	Moderada
18	2	1	3	2	8	Moderada
20	2	1	3	1	7	Baja
22	1	1	3	0	5	Baja
24	1	1	3	1	6	Baja
26	1	1	3	0	5	Baja
28	1	1	3	2	7	Baja
30	1	1	3	0	5	Baja
32	1	1	3	2	7	Baja
34	1	1	3	0	5	Baja
36	1	1	3	2	7	Baja
38	1	1	3	2	7	Baja
40	1	1	3	2	7	Baja
42	1	1	3	2	7	Baja
44	1	1	3	1	6	Baja
46	1	1	3	1	6	Baja
48	1	1	3	2	7	Baja
50	1	1	3	1	5	Baja

se movilizó la mayor cantidad de material con un volúmenes variable entre 1,6 y 15 m³/m con una media de 5,5 m³ por metro de frente. El descenso vertical osciló entre los 50 y 60 cm en la playa frontal debido fundamentalmente a la migración de barras de lavado. La playa distal no registró variación ya que no es alcanzada por las mareas normales.

Estacionales: Se detectaron las variaciones morfológicas, los volúmenes de arena movilizados y la variación altimétrica de la playa durante cambios estacionales verano – invierno con datos de perfiles anuales. Se observó movilización de material en todo el perfil de playa, siendo mayor en la playa frontal. Se estimó un volumen movilizado de 7,5 m³ en playa distal y de 10 a 18 m³ en playa frontal durante estos ciclos. Los descensos alcanzaron en la playa distal los 30 cm y en la

playa frontal los 40 y 70 cm.

Episódicos: Se estimaron los cambios morfológicos, volumétricos y erosión vertical en los perfiles de playa luego de tormentas extraordinarias. Se estimó una movilización media que osciló entre los 12 y los 23 m³ por metro de frente en ambos subambientes con descenso entre los 20 y 120 cm para la playa distal y entre 30 y 133 cm para la playa frontal con tormentas de aproximadamente 2,8 m.

Determinación de la vulnerabilidad

Con el objeto de minimizar el impacto ambiental al medio físico y planificar la diagramación de futuros emprendimientos se confeccionó una matriz de impacto para determinar la vulnerabilidad a la erosión del sector de playa y duna costera. Sobre la base de los resultados obtenidos se propusieron sitios más óptimos

para la diagramación de construcciones aledañas a la playa (balnearios, etc.). Para la confección y valoración de dicha matriz se utilizaron y definieron los siguientes parámetros, erosión de costa, conservación de la duna costera, erosión de playa y erosión por desagües pluviales.

Erosión de costa: La línea de costa en esta localidad está definida por el límite entre la duna costera y la playa distal y se caracteriza por la posición del pie de duna. De este modo podemos decir que la costa retrocede si se ha producido en las últimas décadas una migración de este límite hacia el continente. Este parámetro se estimó mediante la obtención de índices de retroceso de la costa por comparación entre fotografías aéreas de los años 1964, 1991 y mediciones actuales. Los resultados se clasificaron según el cuadro de ponderación que se muestra en el cuadro 2. Los rangos de retroceso reconocidos para la zona oscilaron entre 0,5 y 2,25 metros por año.

Conservación de la duna costera: La duna costera actúa como una defensa flexible de la costa, ya que amortigua el efecto erosivo durante la presencia de tormentas asociadas a un ascenso significativo del nivel del mar (*storm surges*). Por este motivo se realizó un relevamiento que caracterizó su estado de conservación en el que se tuvieron en consideración los siguientes parámetros: perfil del frente y configuración, densidad y tipo de vegetación, degradación por urbanización y grado de impermeabilización. Combinando estos parámetros se les asignó un grado de conservación 1, cuando la duna se encuentra bien conservada, 2, parcialmente conservada y 3 degradada.

Erosión de playa: La configuración del perfil de playa se ha modificado significativamente en respuesta a la erosión inducida por la acción humana. Marcomini y López (1997b) y Marcomini y López (2007), reconocieron diferentes configuraciones en los perfiles de playa que caracterizaron como estadios relacionados a la respuesta erosiva de la playa por la influencia antropogénica. Los mismos efectuaron un modelo de comportamien-

to en el que reconocieron 5 estadios A, B, C, D y E que gradan de una playa natural a playas con distintos grados de erosión (Cuadro 4). Los estadios reconocidos en las playas de Las Toninas son los correspondientes al modelo D y E los que reflejan un grado elevado de erosión antrópica inducida. Las playas localizadas entre la calle 12 y 50 poseen una configuración que refleja un moderado grado de erosión inducida por el hombre; mientras que las ubicadas entre la calle 6 y 12 representan un alto grado.

Erosión por desagües pluviales: Las aguas superficiales producto de las precipitaciones se encauzan principalmente por las calles perpendiculares a la costa las cuales drenan al mar. En el paisaje natural la duna costera obstruye estos drenajes conformando bajos cuyas aguas percolan lentamente al acuífero sin alcanzar la playa. Los drenajes de excedentes pluviales hacia la playa provocan una fuerte erosión localizada en la desembocadura entre las calles y el mar.

El asfaltado de las calles perpendiculares a la costa incrementa la escorrentía superficial al impedir la infiltración directa en los sedimentos arenosos que conforman las dunas generando durante precipitaciones abundantes flujos de agua que erosionan la playa.

En muchas ocasiones, debido a que luego de fuertes lluvias se acumula el agua en la avenida costanera conformando bajos, con el fin de evacuar rápidamente esas aguas se crean canales que cortan la duna costera generando nuevos puntos de erosión de playa por escorrentía.

La erosión que producen estos flujos esporádicos se relevó teniendo en consideración las características morfológicas registradas en su desembocadura sobre la playa. Se los consideró 0, sin drenaje, 1 moderada, 2 descarga elevada.

Zonificación de la vulnerabilidad a la erosión y medidas de manejo

La localidad de Las Toninas es una de las más modernas (1960) del municipio de La Costa, presenta bajo grado de presión urbana por poseer pocas calles asfaltadas,

bajo grado de impermeabilización (debido a la baja densidad de ocupación) y por mantenerse en gran parte la cadena de dunas costeras originales.

El análisis matricial (Cuadro 4) y el mapa de vulnerabilidad a la erosión costera (Fig. 4) mostraron que el sector comprendido entre las calles 4 y 10 es el de mayor vulnerabilidad a la erosión y por consiguiente no es recomendable llevar a cabo ningún tipo de emprendimiento en las cercanías de la costa

Las actividades de extracción de arena en la playa representaron una variable muy importante dentro de los factores que desencadenaron la erosión. La existencia de antiguas zonas de extracción ha provocado daños casi irreversibles en las playas. Existieron tres zonas principales de explotación, una al sur de Las Toninas en la localidad de Costa Chica de poca actividad, otra en la calle 26 que funcionó hasta la década del 80 y abasteció en gran medida los materiales para la construcción de la ruta interbalnearia y la última al norte, en el sector comprendido entre las calles 10 y 4, de donde se explotaron importantes volúmenes durante la década del 70 y 80. A este último sector se le sumó la depredación de la duna costera (por solicitud de los vecinos frentistas) a principios de los 80, la existencia de un encauzamiento pluvial de descarga elevada sobre la playa en la calle 6 y las descargas moderadas de las calles 8 y 10. Esta situación hizo que dicho sector sea el de más alta erosión costera de Las Toninas. El área comprendida entre las calles 12 y 18 presentó un grado de erosión moderado ya que el desarrollo de la duna costera es escaso y el drenaje de descarga es elevado en la calle 14 y 18 y moderado en la 12 y 20. El sector de costa que se extiende entre las calles 20 y 50 presentó un grado bajo de erosión costera, con un cordón de dunas costeras bien desarrolladas, parcialmente vegetado a pesar de la existencia de descargas de excedentes pluviales elevadas en las calles 48, 42, 40, 38, 36, 32 y 28, drenajes moderados en las calles 50, 46, 44, 24 y 20 y sin drenaje en las calles 34, 30, 26 y 22.

Manejo costero

Se han implementado distintas medidas de manejo costero en esta localidad con dos objetivos principales, reconstruir la duna costera y la playa.

Numerosas obras de restauración y mantenimiento de la duna costera y playa se han implementado en la zona. Desde 1997 al 2003 se ejecutó un plan de restauración de la duna costera mediante el método de barreras eólicas fijas (enquinchados) con muy buenos resultados para las zonas de media a baja vulnerabilidad a la erosión (López y Marcomini 2006).

En los sectores definidos como de alta vulnerabilidad a la erosión, estas tareas no han sido eficientes debido al rápido retroceso del pie de dunas y el bajo nivel de la playa. Por tal motivo se ha debido recurrir a otras metodologías como los episodios de recarga artificial.

En el año 1994 se realizó una defensa con cilindros de geotextil rellenos de arena que rápidamente fue socavado y removilizado por las tormentas.

En esta zona se han realizado dos episodios de recarga de playa en 1998 y 2007. El primero con una incorporación de 20.000 m³ de arena en la zona de dunas y playa distal, sobre una extensión de 540 m. La durabilidad de este emprendimiento se considera baja porque se perdió el 50% del material adicionado en los primeros 18 meses (López 2010). Rango que según Leonard *et al.* (1990) se ubica como de muy baja eficiencia.

El segundo episodio se realizó en el año 2007 recargando la duna costera con un volumen de arena de 30.000 m³. Para estabilizar el pie de duna se estaquearon durmientes de quebracho sobre la playa, y se colocó una membrana geotextil por detrás de la misma para retener el material recargado. Luego de la primera tormenta importante (Enero de 2008) se produjo un retroceso del pie de duna del orden de 4,5 metros (Fig. 5). En Julio del 2009 el retroceso alcanzó los 11 m. En este sector anteriormente se han realizado recargas pequeñas para mantener la línea de costa.

CONCLUSIONES

Los valores de descenso vertical obtenidos para los distintos ciclos naturales analizados demuestran la gran movilidad a la que se encuentran sometidos los sedimentos de playa. Si bien en la zona estudiada, la playa está sometida a una migración continua de las morfologías a lo largo del perfil, existen subambientes donde se registra mayor estabilidad temporal. A lo largo del perfil de playa, la playa distal es el subambiente más estable, la removilización de la arena se da principalmente durante ciclos estacionales y episódicos (tormentas) y no se percibe en ciclos mareales. La movilización durante tormentas afecta a todo el perfil de playa

Los valores obtenidos permitieron inferir una erosión vertical probable de 1,60 m en playa frontal y de 1,20 en playa distal. Dichos valores deberían ser tomados como márgenes de seguridad para cualquier tipo de diseño de obras o emprendimientos en la playa, especialmente en aquellos casos donde la obra requiera una mayor durabilidad.

La confección de una matriz de vulnerabilidad, considerando variables geomorfológicas del ambiente costero, resultó de suma utilidad para la delimitación de sectores erosivos en localidades costeras emplazadas en costas de dunas.

En las zonas determinadas como de erosión moderada a baja, es factible realizar tareas de remediación de bajo costo con muy buen grado de eficiencia. Mientras que en las zonas de gran erosión, las tareas de protección, reconstrucción y mitigación de costa son muy poco eficientes y por consiguiente deberá considerarse seriamente la demolición y relocalización de las propiedades que ocupan el frente costero.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto UBACyT X 129.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Estación Meteorológica Santa Teresita 2000. Delegación Meteorológica aeródromo de Santa Teresita. Municipio de la Costa, informe inédito, 32 p, Santa Teresita.
- Komar, P.D. 1976. Beach Processes and Sedimentation. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 429 p, New Jersey.
- Leonard, L.A., Dixon, K.L. y Pilkey, O.H. 1990. A comparison of beach replenishment on the U.S. Atlantic, Pacific and Gulf coasts. *Journal of Coastal research*, Special Issue 6: 127-140.
- López, R.A. y Marcomini, S.C. 2006. Monitoring the fore-dune restoration by fences at Buenos Aires coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39: 955-958.
- López, R.A. 2010. Geología y Dinámica costera el Cabo e San Antonio, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, inédita, 367 p, Buenos Aires.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1997a. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 4(2): 79-96.
- Marcomini, S.C. y López, R.A. 1997b. Beach profile vulnerability. *Proceedings of the Coastal Environmental management and conservation*. BOR-DOMER 97 2: 220-231.
- Marcomini S.C. y López R. A. 2007. Erosión y manejo costero de Villa Gesell. Editor Unión por Gesell. Libro digital. ISBN 978-987-24087-0-1.
- Perillo, G.M. 1979. Cálculo del volumen de sedimentos de la playa frontal en el área de Punta Médanos, Provincia de Buenos Aires. *Acta Oceanográfica Argentina* 2: 31-55.
- Servicio de Hidrografía Naval 1999. Registros de máximas mareas en los últimos 50 años para la estación mareográfica de San Clemente, 4p, Buenos Aires.
- Servicio de Hidrografía Naval 2009. Tablas de marea. Publicación H-601, 599 p, Buenos Aires.
- Spalletti, L.A. 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. *Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y complementaria* 8, 99 p, Buenos Aires.
- Violante, R.A., Parker, G. y Cavallotto, J.L. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56(1): 51-66.

Recibido: 17 de Noviembre, 2009

Aceptado: 25 de Marzo, 2010