

Dinámica morfológica de las playas de Villa Gesell (1994-1996), Provincia de Buenos Aires

G.R. BÉRTOLA, M. FARENGA, L. CORTIZO y F.I. ISLA

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata,
C.C. 722 - Correo Central, 7600 Mar del Plata

ABSTRACT. *Morphologic dynamic of the Villa Gesell beaches, Provincia de Buenos Aires.* The city of Villa Gesell was settled on a sand dune field oriented NE-SW, and transverse to the winds coming from the SSW. This caused serious runoff problems on interdune depressions, today obstructed by storm berms and progressively filled by washovers. Five beaches of the county: Mar Azul, Soleado, and the resorts of Villa Gesell: Caribe, Los Históricos and Bucaneros, were surveyed between March, 1994 and March, 1996. During this time seven series of beach surveys (3 profiles per beach) were performed from the backshore to the surf zone. The beaches of Villa Gesell are subject to episodic touristic pressure, whereas Mar Azul and Soleado (Mar de las Pampas) are considered pristine beaches, free of man-induced impact. Beach slopes are gentle (3-5 %) although steeper slope (9 %) may occur in foreshores. Steeper slopes are more common toward the north, with narrower berms. Medium sand dominates at the backshore, very coarse to medium sand at the foreshore, and very coarse to gritty (bioclastics) at the toe of the beach. Wave-refraction charts were constructed for waves approaching from different directions. The refraction patterns indicate the effects of a sand-ridge field. Higher and localized breakers, recognized on aerial photographs, are attributed to the convergence and divergence of wave rays. Beach balances indicate minor erosion budgets of 6,000 m³/year (12,800 m³ eroded in 2 years). Soleado beach had the greatest erosion (18,000 m³ in 2 years) mainly between July and November 1994 (13,900 m³). The Bucaneros beach had little erosion (1,100 m³). In Mar Azul and Los Históricos, more than 5,500 m³ of sand accumulated. Caribe beach had no net change, although affected by significant dynamics. In general, autumn-winter was erosive, while summer-autumn was accumulative.

Introducción

La ciudad de Villa Gesell (Fig. 1) se ha edificado sobre una barrera medanosa relativamente joven. Esta barrera se ha desarrollado con posterioridad a la fluctuación holocena del nivel del mar (Schnack *et al.* 1982; Violante y Parker 1993), y posee médanos que no tienen más de 540 años de antigüedad (Isla *et al.* 1996).

El crecimiento vertiginoso de esta ciudad se debe principalmente a la calidad estética de tres de sus recursos originales: el mar, la playa y los médanos. Como cuarto recurso, pero éste introducido, se cuenta con la forestación que ha sido muy intensa en ciertos sectores. Como norma general de esta costa, los procesos de erosión son más críticos en los sectores más urbanizados (Mar Chiquita, Pinamar, Santa Teresita). La disposición de médanos transversales a la línea de costa ha disimulado los procesos de erosión de formas medanosas y acumulación en las depresiones intermedanas. Los fenómenos de colmatación de estas depresiones por fenómenos de sobrelavado han originado problemas de drenaje, más intensos en ocasión de tormentas torrenciales de verano.

El objetivo del presente estudio es analizar la dinámica morfosedimentaria del sector litoral de la playa, mediante la descripción y discusión de los resultados

obtenidos en los relevamientos de perfiles de playa realizados durante dos años (1994 - 1996) en cinco playas de ese municipio urbano (Fig. 1), representados por 105 perfiles.

Las playas con problemas de erosión como los balnearios Bucaneros y Soleado (Mar de las Pampas), fueron comparadas con las playas de carácter acumulativo, como Mar Azul y Los Históricos (en menor medida balneario Caribe). Los diferentes balances han sido relacionados a particularidades en la refracción de olas y a efectos antrópicos (instalación de carpas, extracción de arenas de médano).

Antecedentes

Teruggi (1959) y posteriormente Spalletti y Mazzoni (1979), caracterizaron granulométrica y mineralógicamente las playas del este de Buenos Aires, reconociendo variaciones texturales transversales (playa distal, frontal y médano) y a lo largo de la costa. Entre los cambios texturales, muy sutiles por cierto, se observaba mayor diámetro de arenas hacia los ambientes topográficamente inferiores. La selección aumentaba hacia la playa frontal. Regionalmente, los tres ambientes tenían valores semejantes, con una disminución del diá-

metro de las arenas de sur a norte, y hacia allí, mejores selecciones. En las arenas de la playa distal, se apreciaba una mayor granulometría en la zona al norte de la boca de Mar Chiquita, disminuyendo hacia el norte y sur. En cuanto a la mineralogía, los cambios re-

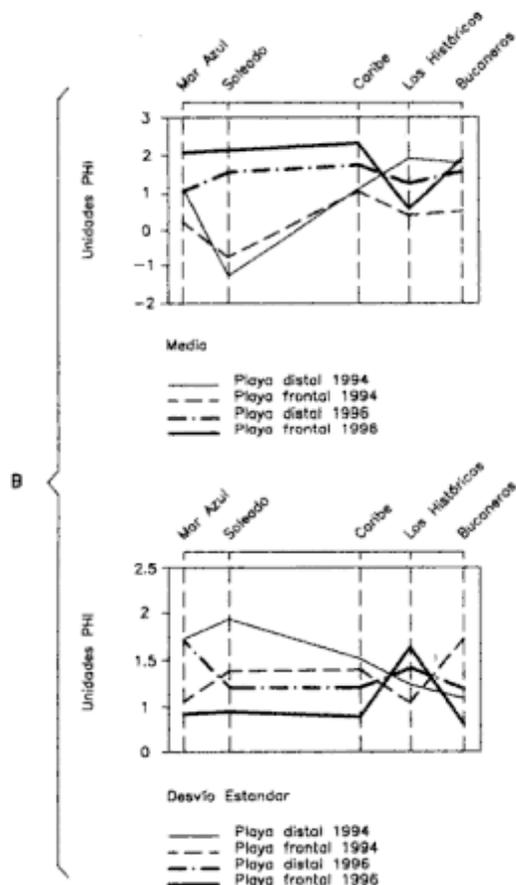
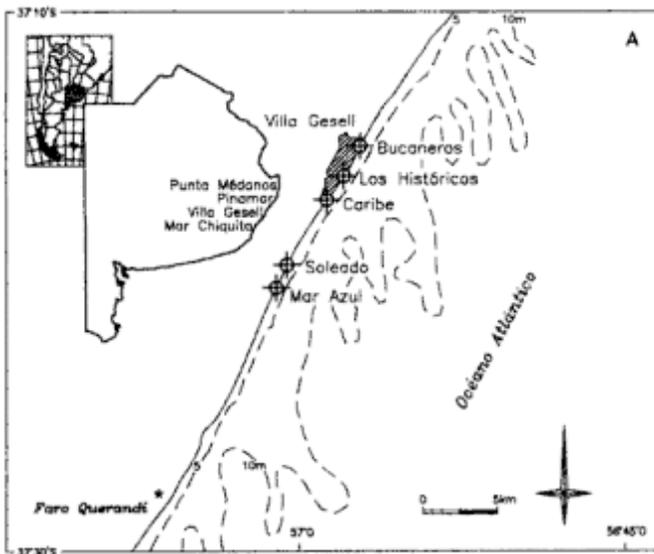


Figura 1: A, Mapa de ubicación de las playas relevadas. B, Variabilidad de algunos parámetros estadísticos a lo largo de las diferentes playas.

gionales eran más importantes, sobre todo en lo referente a minerales pesados (Spalletti y Mazzoni 1979).

Schnack *et al.* (1982) y Fasano *et al.* (1982) realizaron un análisis evolutivo y estratigráfico (respectivamente) de la región al norte de Mar Chiquita, encontrando una sucesión de espigas que hacia el sur cerraron una gran bahía, y la colmataron hasta dejar actualmente una laguna costera. Violante y Parker (1993) 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 de las corrientes litorales hacia el sur y hacia el norte, actualmente desaparecidas.

En relación al transporte de arenas por acción del oleaje, estudios recientes arrojan que durante los últimos 6.000 años ha existido (en relación con una estabilidad hidrodinámica y climática) una componente neta de ola desde el sur y sudeste, lo que representaría movimientos hacia el norte y noreste a lo largo de la playa (Kokot 1997). Por otro lado, y empleando perfiles de playa y muestreos en áreas próximas al presente estudio, Marcomini y Lopez (1997) perciben una notable dinámica de la berma, y en las características texturales de las arenas; finalmente realizan recomendaciones de manejo costero.

Metodología

Las tareas de campo consistieron en la ejecución cuatrimestral de relevamientos topográficos en cinco playas. Los perfiles de playa fueron, de sur a norte (Ver Fig. 1A):

1. Mar Azul (Mar Azul).
2. Balneario Soleado (Mar de las Pampas).
3. Balneario Caribe (Villa Gesell).
4. Balneario Los Históricos (Villa Gesell).
5. Balneario Bucaneros (Villa Gesell).

Cada relevamiento consistió en la realización de tres perfiles transversales a la playa desde un punto fijo (Punto Estación) hasta unos 0,5 m de profundidad, con un espaciado de 100 m entre perfiles.

El Punto Estación está ubicado en todos los relevamientos de una misma playa, exactamente en el mismo lugar geográfico, generalmente en el espaldón. En la playa de Mar Azul, el espaldón natural fue eliminado por el hombre, en este caso el Punto Estación está arbitrariamente ubicado en lo que normalmente es la mitad de la playa distal. Estos Puntos Estación, están referidos, según ángulos y distancias, a Puntos de Referencia inalterables ubicados sobre las construcciones balnearias, con cotas arbitrarias de 10 m, para evitar hacer cálculos con números negativos. Entre el Punto Estación y el Punto de Referencia no se observaron variaciones morfológicas salvo las producidas por el hom-

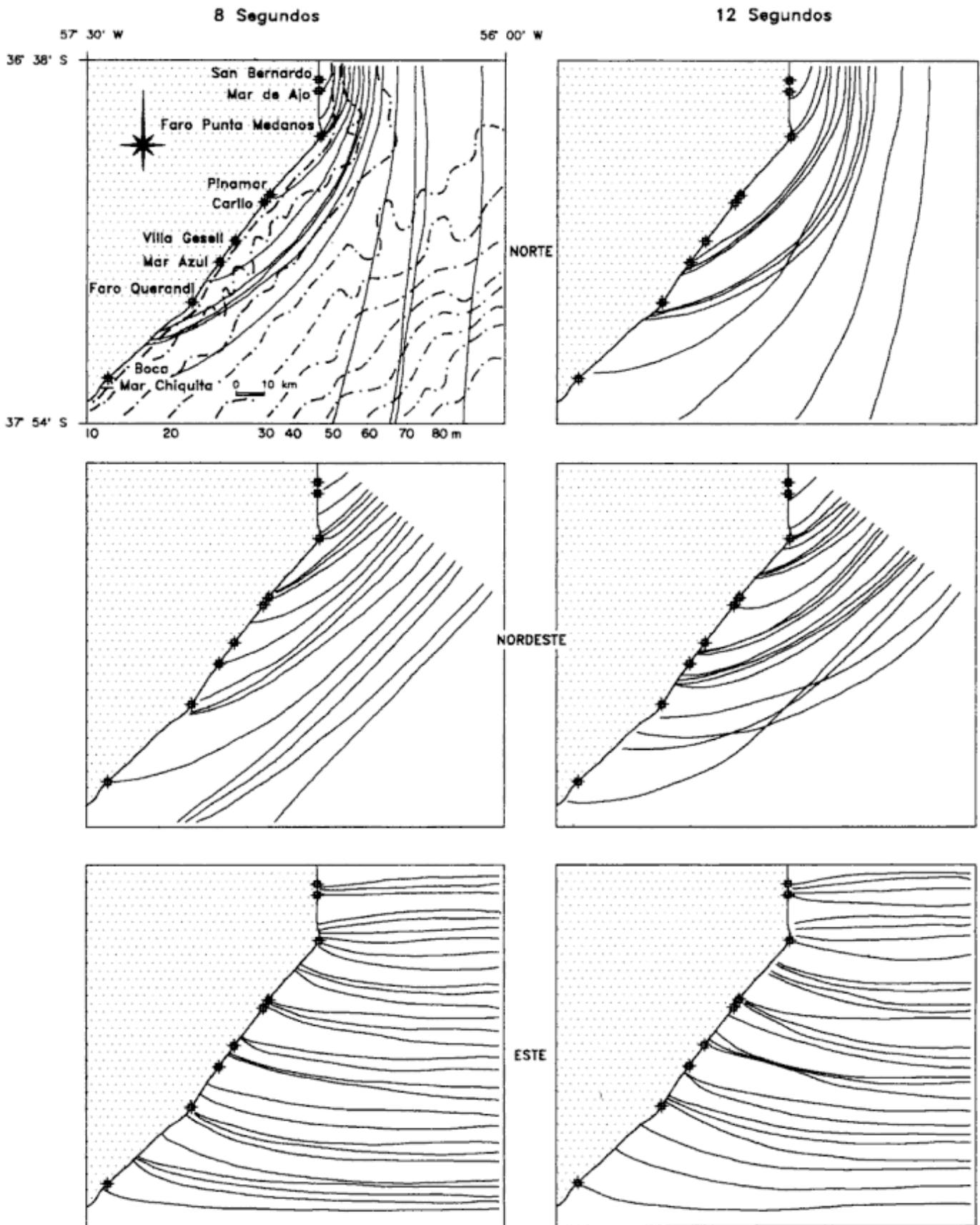


Figura 2: Gráficos de la refracción de olas en el área de estudio. La distorsión obedece al simularse una grilla uniforme de 3 por 3 kilómetros.

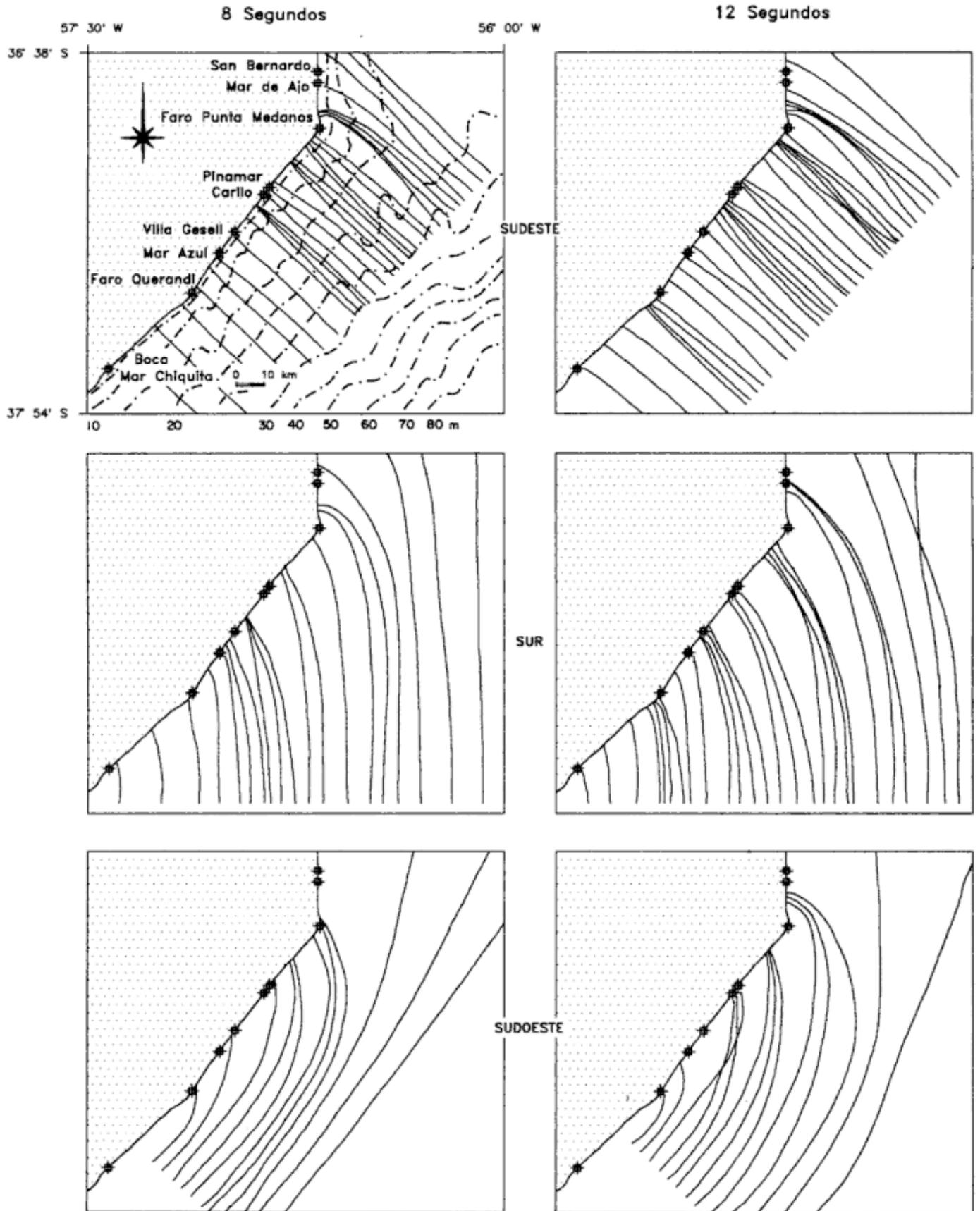


Figura 3: Gráficos de la refracción de olas en el área de estudio. La distorsión obedece al simularse una grilla uniforme de 3 por 3 kilómetros.

bre o por la acumulación eólica. Las variaciones de cota que se observan en los puntos Estación se deben a idénticas causas, cuyo efecto es puramente local, y no a erosión o acumulación marina.

Se tomaron cotas equidistantemente (5 m), que fueron referidos a un mismo nivel de referencia (10 m). Los balances sedimentarios son exclusivamente para los límites en que se tomaron los desniveles. Se calcularon las diferencias volumétricas entre perfiles de diferentes relevamientos, considerando la longitud del perfil menor, según métodos convencionales (Fox y Davis 1978, en Isla 1991 y Birkemeier 1986). Las mediciones se realizaron en bajamares, intentando que sean durante las sicigias.

De cada perfil central, se obtuvieron muestras superficiales (no más de 3 cm de profundidad) de sedimento (marzo de 1994 y julio de 1996), de la playa distal, ber-

ma de mareas y playa frontal. Posteriormente en laboratorio, los sedimentos fueron tamizados cada 0,5 unidades phi y comparados sus parámetros estadísticos (según Folk y Ward 1957).

De la superposición de los perfiles relevados, se obtuvieron mapas de erosión-depositación, y de la comparación entre el último y el primero, se determinaron los desplazamientos netos del material (sentido y volumen de transporte).

Con relación a los estudios de la refracción de olas y su acción sobre las playas, se recurrió a un programa desarrollado por investigadores de la Universidad de Gales del Sur (Elliott 1990). El mismo requiere la confección de un grillado (con un máximo de 10.000 nodos) según X, Y, Z (longitud, latitud y profundidad), realizado entre los 37°38' y 37°54' sur y 56° y 57°30' oeste y con la batimetría trazada sobre la base de la carta náu-

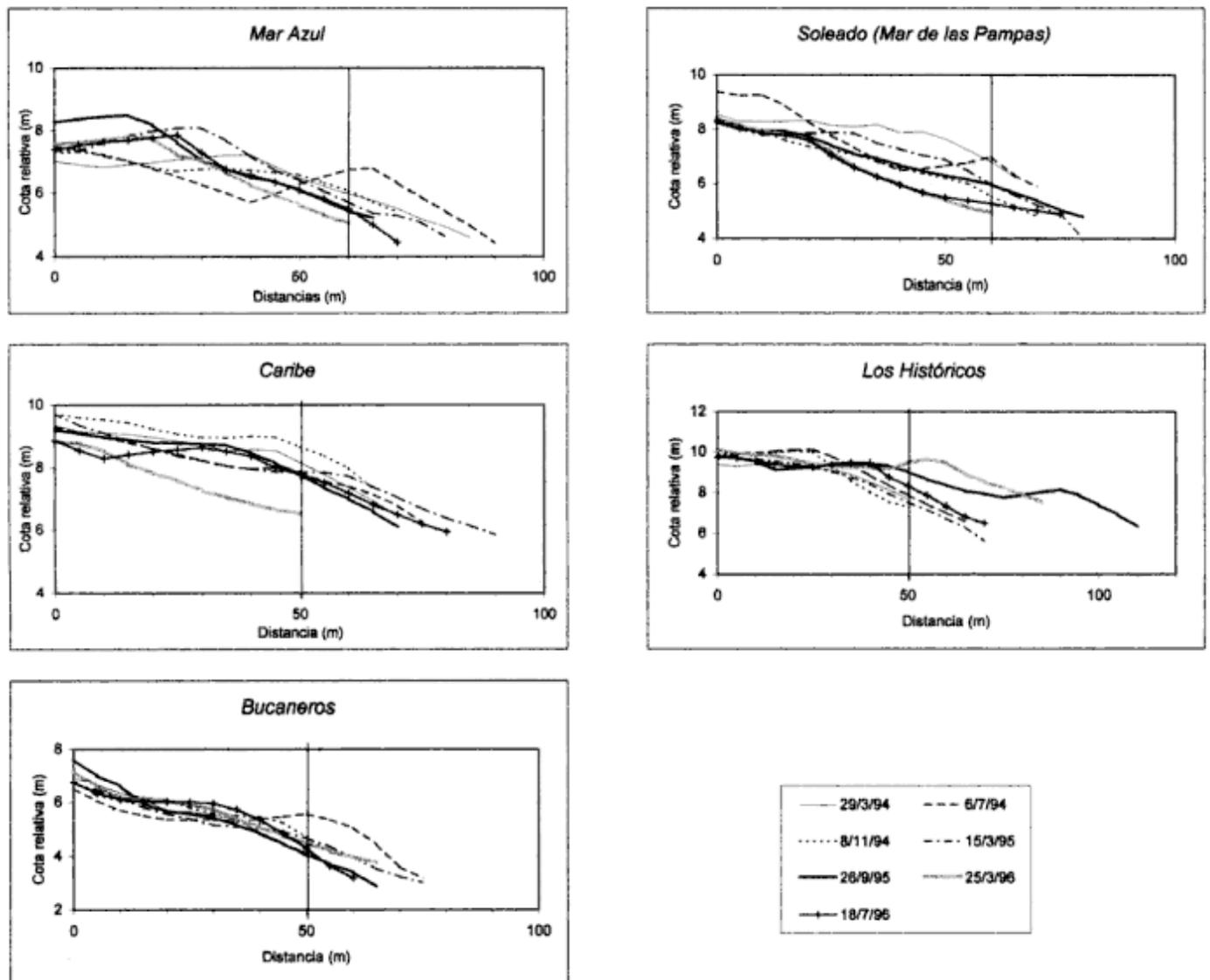


Figura 4: Variaciones del perfil central de las playas relevadas. La línea vertical representa el punto común de cierre de todos los perfiles centrales medidos. Las variaciones en la cota del último punto de cierre hacia tierra se deben a efectos locales (acumulación eólica o antrópica).

tica del Servicio de Hidrografía Naval H-114 (1964, actualizada a 1992). Las grillas son rectangulares y poseen 44 por 39 nodos, con celdas de 2.500 por 3.750 metros. El programa no considera efectos de Coriolis.

Los gráficos fueron analizados a los efectos de establecer las condiciones dinámicas de la costa sobre la base de la distribución de energía de las olas, reflejada en la concentración y dispersión de ortogonales, encontrándose zonas de concentración (y consecuentemente mayor movimiento de sedimentos en suspensión, con la eventual pérdida de sedimentos), y zonas de dispersión (conducentes a disminución de energía y depositación). Se consideraron olas de 8 y 12 s de período, provenientes del norte, nordeste, este, sudeste, sur y sudoeste (Figs. 2 y 3).

Características generales de la región

En esta zona de la Provincia de Buenos Aires el régimen de mareas es de desigualdades diurnas, registrando en Pinamar (37°07' sur - 56°51' oeste), una amplitud media de sicigias de 0,74 m. La onda de marea se propaga desde el sur a una velocidad de 0,13 m/s dependiendo en gran medida de los vientos. Estas playas poseen un continuo aporte de arenas por deriva litoral desde el sur del orden de 700.000 m³/año (Framiñan 1990). Cálculos más recientes del transporte litoral indican un valor promedio de 400.000 m³/año hacia el norte (Caviglia *et al.* 1992). Estos valores aumentarían significativamente durante los meses de invierno cuando las episódicas Sudestadas causan importantes daños a los balnearios (Isla 1995).

De acuerdo con observaciones visuales realizadas en Pinamar y mediciones con sensores de presión de Mar del Plata, las alturas de ola promedio son de 0,89 y 0,91 m, respectivamente; la altura máxima también difiere poco, entre 1,90 y 2,30 m. En Pinamar el período es de 8,7 s y en Mar del Plata de 9,5 s (Lanfredi *et al.* 1992). Debido a la pendiente de la playa, las olas son del tipo de volteo (*plunging*).

En las costas del Municipio de Villa Gesell, los vientos más frecuentes son los del norte, en tanto que los más intensos son los del sudeste, sur y sudoeste. De acuerdo con cálculos realizados según el método JONSWAP para generación en ambiente profundo (CERC 1977), vientos de 16 km/h generarían olas de 0,7-0,8 m de altura si actuaran durante 24 horas sobre una distancia (*fetch*) de 1000 km. Los períodos serían de 7 seg., aunque pueden llegar a 14 s en ocasión de grandes tormentas.

Entre Mar Chiquita y Punta Médanos, se extiende un campo de bancos submareales alineados conformados por arenas no consolidadas finas, con una orientación entre 20° y 45° con respecto a la costa y conectados a ella en su sección norte (Parker *et al.* 1978). La pendiente de sus flancos es de aproximadamente 0,0034°,

con sedimentos más finos en su flanco oriental, y a su vez más gruesos en los canales que en las crestas. Poseen longitudes de 9 a 30 km, los surcos son de 2 a 2,5 km de ancho. Las longitudes de onda son de 4 km con alturas de 5 a 7 m. Su dinámica registra en la zona de Punta Médanos niveles de sedimentación del orden de 22 cm/km², con características erosivas en los valles y depositacionales en las crestas. Hay más erosión al sur que al norte, y hacia ese lado los sedimentos son más finos, por lo que se considera que el movimiento es hacia el norte y este. En cuanto a la génesis de los bancos se considera que se forman por flujos helicoidales independientes; la arena provendría del excedente del transporte por deriva litoral, así como por aporte eólico (Parker *et al.* 1978).

Resultados

En la Tabla 1, se indican los volúmenes cuantificados en cada período, así como los balances generales y las pendientes de la playa (pendiente general y de la cara de playa). Los perfiles de cada playa (Fig. 4) se han integrado en balances volumétricos por playa (Fig. 5).

1. Análisis de las playas

1. Balneario Mar Azul

Entre el otoño de 1995 y verano de 1996 se perdieron los máximos volúmenes de arena (9.855 m³), en tanto que el período de máxima acumulación fue en primavera/verano de 1994/95 (8.715 m³). Los balances indicaron una acumulación neta de 3.341 m³ en los dos años (Fig. 5).

El análisis de los perfiles arroja que la ubicación de la berma ha ido retrocediendo desde julio de 1994, así como la zona de máxima erosión. Las mayores variaciones se dan entre los 20 y los 40 m del punto estación. Estudiando cada perfil individualmente se desprende que los mayores cambios ocurrieron en el perfil sur (8.650 m³).

2. Balneario Soleado (Mar de las Pampas)

Aquí el balance fue el más negativo de las cinco playas, con una erosión neta de 18.058 m³ entre ambos años (Fig. 5). La pendiente general es mayor que en el perfil anterior (5,17 %). La mayor erosión se dio en invierno/primavera de 1994, y la mayor depositación, en primavera/verano de ese mismo año.

Se observa un continuo retroceso de la berma desde julio de 1994, en tanto que el área de máxima erosión sufrió un notable retroceso en la primavera de 1994, y

en los subsiguientes se aleja del punto estación. Las mayores variaciones se dieron entre los 25 y los 50 metros del mismo. Los mayores cambios ocurrieron en el perfil Central (8.823 m³); predomina aquí también la erosión sobre la depositación.

3. Balneario Caribe

Aquí el balance fue levemente positivo, con 525 m³ de arena depositada en los dos años, pero en los sucesivos relevamientos se han observado notables variaciones de más de 17.000 m³ (Fig. 5). Se observaron leves va-

riaciones en la posición de la berma hasta marzo de 1995, en las posteriores retrocedió abruptamente. En 1996 empezó a recuperarse pero no llegó a las condiciones que antes ocupaba.

La zona de máxima erosión fue acercándose al mar durante las primeras campañas y en las últimas se mantuvo constante. Las mayores variaciones se dieron entre los 15 y los 50 m del punto estación. Los mayores cambios ocurrieron en el perfil norte, con el mayor rango de los perfiles relevados (13.310 m³); predomina aquí la depositación por sobre la erosión.

4. Balneario Los Históricos

En este perfil hubo un balance acumulativo de 2.520 m³. Se han observado notables volúmenes acumulados durante otoño/invierno de 1995 y erosivo en otoño/invierno de 1996 (Fig. 5). La pendiente de la cara de playa es la mayor de los perfiles relevados (9,43 %).

La ubicación de la berma fue retrocediendo desde los primeros perfiles hasta el de marzo de 1995, cuando empezó a acercarse nuevamente hacia el mar. La zona de máxima erosión seguía este retroceso, y a partir de otoño/invierno de 1995 avanza notablemente hacia el mar, reflejando la variación más brusca en tan corto período para todos los perfiles observados. Las mayores variaciones se observaron entre los 15 y 60 m del punto estación. Los mayores cambios ocurrieron en el perfil Central, con un rango de 11.135 m³; predominó la erosión por sobre la depositación.

5. Balneario Bucaneros

Esta playa tuvo un balance negativo, con pérdida de sedimentos del orden de 1.184 m³ en ambos años (Fig. 5). En los perfiles se observó una berma estable, con su máxima aproximación al mar en julio de 1994, y con relación a la zona de máxima acumulación fue retrocediendo hasta el otoño/invierno de 1995, para avanzar hacia el mar en los perfiles subsiguientes. Las variaciones se observaron entre los 15 y los 40 m del punto fijo. Los mayores cambios ocurrieron en el perfil norte, con un rango de 6.533 m³; predomina la depositación por sobre la erosión.

2. Balance regional

En el Partido de Villa Gesell, se ha cuantificado una erosión neta (1994-1996) de 12.856 m³ de arena. Se observan ciclos de erosión y depositación a lo largo del año en correspondencia a variaciones estacionales.

Los mayores volúmenes transportados durante estos dos años se registraron en el perfil norte del balneario Caribe (13.310 m³) (Tabla 1). La máxima ero-

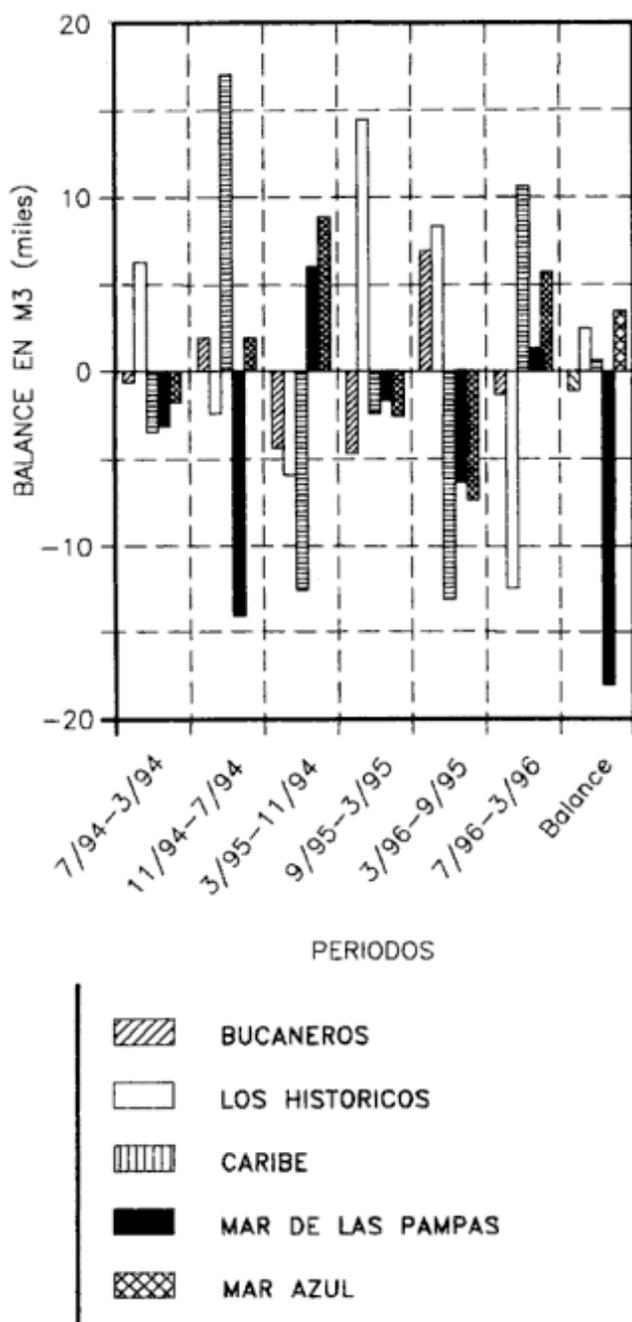


Figura 5: Balances sedimentarios de las playas estudiadas.

sión (5.770 m³) y depositación (7.825 m³) también se dieron en el balneario Caribe, en los perfiles Central y Norte, respectivamente.

Mar Azul perdió arena en los primeros relevamientos, luego acumuló desde el invierno al verano de 1994-95, para luego perder arena durante el otoño/verano de 1995-96 (Tabla 1). Finalmente comenzó una recuperación entre otoño e invierno de 1996. Soleado (Mar de las Pampas) perdió grandes volúmenes, con pequeñas recuperaciones en primavera/verano de 1994-95 y otoño/invierno de 1996. Caribe también perdió grandes volúmenes de arena, con recuperaciones esporádicas durante invierno/primavera de 1995 y otoño/invierno de 1996, pero es una playa con una notable dinámica. Esto se vio demostrado en los elevados volúmenes que se movieron (más de 13.000 m³). El balneario Los Históricos se ha mantenido relativamente estable con relación al volumen sedimentario, con pérdidas entre invierno y verano de 1994-95 y otoño/invierno de 1996. Bucaneros en general perdió arena salvo en invierno/primavera de 1994-95 y primavera/verano de 1995-96, que tuvo saldos depositacionales (Tabla 1).

Regionalmente se aprecia un aumento de las pendientes generales de las playas hacia el norte, con excepción en Soleado (Mar de las Pampas). Con relación a la pendiente de la cara de playa, también aumenta hacia el norte, con menor pendiente en el Balneario Caribe. Temporalmente, las pendientes generales aumentan su gradiente a lo largo del tiempo (Soleado disminuye y Los Históricos permanece constante). En cambio, las pendientes de la cara de playa disminuyen en el tiempo (excepto en Los Históricos, que permanece constante). Entre fines de 1995 y principios de 1996 hay abruptos cambios en las pendientes de casi todas las playas, en los demás períodos los cambios son graduales.

3. Características texturales

1. Balneario Mar Azul

El análisis de los parámetros estadísticos arrojó, para marzo de 1994, que la granulometría de este balneario era de arena gruesa, selección moderada, distribuciones simétricas y percentil 1 de tamaño sábulo (Fig. 1B). La playa distal poseía media en arena mediana, selección pobre y asimetría muy negativa; el percentil 1 era sabulítico. La playa frontal poseía media en arena gruesa, selección moderada y distribuciones positivas; el percentil 1 era de arena muy gruesa.

Para julio de 1996, las medias de las muestras variaron de arena fina a gruesa, el desvío estándar arrojó valores de pobre a bien seleccionadas y la asimetría fue simétrica a negativa. En general, se apreció un tamaño de arenas mayor en la zona de berma, disminuyendo hacia una arena mediana en la playa distal, y una

fin a en la frontal. El desvío estándar pasaba hacia el mar, de pobremente seleccionado a bien seleccionado y la asimetría era simétrica en la berma, pasando a negativa hacia los lados (distal y frontal).

2. Balneario Soleado (Mar de las Pampas)

El análisis de los parámetros estadísticos arrojó, para marzo de 1994, que las arenas de este balneario poseían una granulometría media de tamaño sábulo, selección pobre (Fig. 1B), distribuciones simétricas y percentil 1 de tamaño guija. La playa distal poseía media en sábulo, selección pobre y asimetría negativa; el percentil 1 fue de tamaño guija. La playa frontal poseía media en arena muy gruesa, selección moderada y distribuciones simétricas, el percentil 1 era guija.

Para julio de 1996, la media se comportó igual que la anterior playa. El desvío estándar varió de pobremente seleccionado a bien seleccionado y de distribución simétrica. En cuanto a las variaciones locales, las arenas de la berma eran gruesas pasando a medias en la playa distal y finas en la frontal. El desvío estándar indicó que las arenas eran de medianamente seleccionadas en la playa distal a pobremente seleccionadas en la berma y bien seleccionadas en la playa frontal.

3. Balneario Caribe

El análisis de los parámetros estadísticos arrojó, para marzo de 1994, que las arenas de este balneario eran de arena mediana (Fig. 1B), selección moderada, distribuciones negativas y percentil 1 de tamaño arena muy gruesa. La playa distal poseía arenas medianas, con selección pobre y asimetría negativa; el percentil 1 era de arena muy gruesa. La playa frontal era de arena mediana, selección moderada y distribuciones negativas; el percentil 1 era de arena muy gruesa.

Para julio de 1996, la media varió entre arena fina y mediana; el desvío estándar arrojó valores de arena con moderada a buena selección y la asimetría de simétrica a negativa. Con relación a sus variaciones locales, se observó que la arena en general era mediana, pasando a fina en la playa frontal, y su desvío estándar era moderado, pasando hacia la playa frontal a bien seleccionado, y la asimetría pasaba de negativa a simétrica hacia el mar.

4. Balneario Los Históricos

El análisis de los parámetros estadísticos arrojó, para marzo de 1994, que las arenas de este balneario eran de arena mediana (Fig. 1B), selección moderada, distribuciones simétricas y percentil 1 de tamaño arena muy gruesa. La playa distal era de arena mediana,

Tabla 1: Datos morfológicos y volumétricos de las playas relevadas. Referencias: Gral.: Pendiente general en porcentaje; Cara: Pendiente de la cara de playa en porcentaje. Valores estacionales en m³; Rango: Diferencia entre la máxima erosión y la máxima depositación; I, II y III: Perfiles Centro, Sur y Norte, respectivamente.

PLAYA	Pendiente		Balance Total (m ³)	Otoño Invierno 1994	Invierno Primavera 1994	Primavera Verano 1994/95	Otoño Invierno 1995	Primavera Verano 95/96	Otoño Invierno 1996	Perfiles	Balance (m ³)	Rango (m ³)
	GRAL-	CARA										
BUCANEROS	5.51	8.62	-1184	644	1876	4438	-4635	6847	-1329	II	2190-	4515
										I	894-	2747
										III	2480"	6533"
LOS HISTORICOS	4.32	9.43	2520	6215	-2415	-5892	14457	8143	-12493	II	2840	8045
										I	-305	11135
										III	-15"	8659
CARIBE	4.12	6.40	525	-3455	17005	-12630	-2446	-13064	10500	II	990	9579
										I	-870	10500
										III	405	13310
SOLEADO (MAR DE LAS PAMPAS)	5.17	7.29	-18058	-3165	-13967	5902	-1683	-6324	1139	II	-5520	8671
										I	-7622	8823
										III	-4916	3253
MAR AZUL	3.70	7.11	3341	-1727	1805	8715	-2545	-7310	5571	II	1025	8650
										I	296	5570
										III	2020	4975
NETO			-12856	-2776	4304	-8343	3148	-11708	3388			

selección moderada y distribuciones simétricas; el percentil 1 era de arena muy gruesa. La playa frontal era de arena gruesa, selección moderada y distribuciones simétricas; el percentil 1 es de arena muy gruesa.

En julio de 1996, la media era de arena mediana a gruesa, con un desvío estándar que indicaban selecciones pobres y la asimetría de negativa a positiva. La playa distal y la berma poseían arena mediana, en tanto que era gruesa la playa frontal. El desvío estándar pasó de moderada a pobremente seleccionado hacia el mar, en tanto que la asimetría indicó que hay valores negativos en la playa distal y berma, pasando a positivos en la frontal.

5. Balneario Bucaneros

En marzo de 1994, las arenas de este balneario eran de arena mediana (Fig. 1B), selección moderada, distribuciones simétricas y percentil 1 de tamaño arena muy gruesa. La playa distal era de arena mediana, selección moderada y asimetría simétrica; el percentil 1 era de arena gruesa. La playa frontal era de arena gruesa, selección pobre y distribuciones simétricas; el percentil 1 era de tamaño sábulo.

En julio de 1996, la arena era mediana, el desvío estándar variaba entre moderadamente seleccionado a muy bien seleccionado, y la asimetría de negativa a muy negativa. En la berma la arena era levemente más gruesa que en el resto de los sitios muestreados. El desvío estándar arrojó valores que corresponden a

moderada selección hacia el continente pasando a muy buena selección hacia la playa frontal. La asimetría arrojó valores negativos hacia los extremos, en tanto que fue muy negativo en la berma.

Comparación regional de parámetros texturales

a) Marzo de 1994

Los datos de las muestras de arena obtenidas, arrojan distribuciones unimodales en la mayor parte de las mismas, excepto en la playa distal de Mar Azul y la frontal de Soleado (Mar de las Pampas), donde los histogramas son bimodales (arena muy gruesa y fina). En algunas muestras existen granulometrías psefiticas que son exclusivamente biogénicas (conchillas de bivalvos). Esto indicaría fuente de aporte de bioclastos en el sur, que coincide con los sitios preferidos para la extracción de áridos (Arenera Galati). Los promedios generales de los parámetros estadísticos de los perfiles, fueron de arena gruesa (0,61 *phi*), las selecciones moderadas y las distribuciones simétricas.

Los sedimentos más gruesos dominan hacia el sur, con arenas muy gruesas e incluso sabulíticas, en tanto que hacia el norte pasan a arenas medianas. La selección prácticamente no tiene variaciones, comportándose como moderada en todos los perfiles excepto en Soleado (Mar de las Pampas) que se comporta como pobre.

b) Julio de 1996

En julio de 1996, casi todas las muestras se comportaron como unimodales. Sobre la base de los promedios generales de los parámetros estadísticos de los perfiles, se observa que las medias cayeron en arena mediana, los desvíos estándar presentaron una distribución moderadamente seleccionadas, y las asimetrías fueron muy negativas. Del mismo modo, se aprecia una mayor variación en el tamaño del grano hacia las playas del sur.

Comparando los parámetros estadísticos de las muestras de las arenas relevadas, predominan las granulometrías más finas y mejor seleccionadas en las playas frontales, mientras los sectores supramareales (cresta de berma y playa distal) son más gruesos y menos seleccionados. El percentil 1 se encuentra ampliamente influido por el contenido ocasional de bioclastos, más importante en las playas del sur (Mar de las Pampas y Mar Azul).

Refracción de olas

Dirección Norte: Con 8 segundos de período, se observan variaciones en el recorrido de las ortogonales que se inflexionan hacia el oeste. El diseño de las isobatas al sur de Punta Médanos hace que las líneas se curven hacia la costa, concentrándose hacia el Faro Punta Médanos y sur del Faro Querandí. Con 12 segundos, se observa una marcada inflexión hacia el oeste, con concentraciones de ortogonales hacia el Faro Punta Médanos, Mar Azul, Mar de las Pampas y sur de Faro Querandí. Con esta dirección, el ángulo de incidencia varía entre 20° y 45°, produciendo una deriva litoral hacia el sur (Fig. 2).

Dirección Nordeste: Con 8 segundos no hay alteraciones en el recorrido de las ortogonales, hasta la isobata de 10 metros que se inflexionan hacia la costa. Hay pequeñas concentraciones de curvas hacia Faro Punta Médanos, Pinamar y Faro Querandí. Con 12 segundos, hay concentraciones de ortogonales hacia el Faro Punta Médanos, norte de Pinamar, Mar de las Pampas y norte de Faro Querandí. Los ángulos de incidencia, que varían entre 45° y 60°, generan una deriva litoral hacia el sur (Fig. 2).

Dirección Este: Con 8 segundos de período, las ortogonales llegan formando el mismo ángulo con respecto a la costa y se inflexionan a profundidades del orden de los 40 m, concentrándose hacia San Bernardo/Mar de Ajó, Faro Punta Médanos, Pinamar y Cariló, Villa Gesell y Faro Querandí. Con 12 segundos, se aprecian concentraciones hacia San Bernardo, Mar de Ajó, norte del Faro Punta Médanos, norte de Pinamar, Cariló, Villa Gesell y Faro Querandí. Dados los ángulos de incidencia de 65° y 90°, la deriva litoral sigue siendo hacia el sur (Fig. 2).

Dirección Sudeste: Con 8 segundos, las ortogonales llegan normales a la costa, prácticamente sin variaciones, con pequeñas concentraciones hacia el norte del Faro Punta Médanos, Villa Gesell, Cariló y norte de Pinamar. Con 12 segundos, las ortogonales se concentran hacia el norte y sur del Faro Punta Médanos, Pinamar, norte de Villa Gesell y Faro Querandí. Con un ángulo de incidencia de 75° a 90°, la deriva litoral sería hacia el norte (Fig. 3).

Dirección Sur: Con 8 segundos, las ortogonales se desplazan paralelamente y tienen pequeñas inflexiones hacia tierra en profundidades someras (10 a 15 metros). Las concentraciones de ortogonales son hacia el norte de Pinamar, Mar Azul, Mar de las Pampas y norte de Villa Gesell. Con 12 segundos de período, las ortogonales se inflexionan hacia el continente concentrándose hacia el sur de San Bernardo y Mar de Ajó, Pinamar, Mar Azul y sur de Faro Querandí. El ángulo de incidencia de 65° a 80°, induce que la deriva litoral se produzca hacia el norte (Fig. 3).

Dirección Sudoeste: Con 8 segundos, las olas se modifican a partir de los 10 metros de profundidad y se inflexionan levemente hacia tierra, concentrándose hacia el Faro Punta Médanos y norte de Pinamar. Con 12 segundos, las ortogonales se inflexionan hacia el continente, concentrándose al sur de San Bernardo y Mar de Ajó, norte de Pinamar y norte de Villa Gesell. Con esta dirección de oleaje, se forma un ángulo de incidencia de 20° a 70°, que provoca una deriva litoral con dirección norte (Fig. 3).

Discusión

Para el período considerado (otoño de 1994 a invierno de 1996) el balance en general fue erosivo, perdiéndose grandes volúmenes sedimentarios en el Balneario Bucaneros y Soleado y con leves acumulaciones en los restantes (la relación de tres volúmenes erosionados por uno depositado).

En general, se aprecian similitudes en el comportamiento dinámico de los balnearios del sur (Caribe, Soleado y Mar Azul), con acumulaciones durante fines de 1994 y 1996 y erosión durante 1995, así como entre los balnearios del norte (Bucaneros y Los Históricos). Analizando la Tabla 1, se aprecia una migración de los sectores erosivos desde el sur hacia el norte desde mediados de 1994 a principios de 1995. Desde mediados de 1995 a mediados de 1996, se reconoce otra migración hacia el norte (coincidente con el sentido de migración de los bancos submareales), de las zonas con balance erosivo.

Los períodos Otoño/Invierno, son mayormente erosivos, mientras que Verano/Otoño es época de recuperación de las playas. En los períodos Invierno/Primavera y Primavera/Otoño, los balances no indicaron tendencias netas dominantes (erosión o acumulación).

Durante los dos años de mediciones, se registraron varias tormentas sudestadas, pero sólo dos de importancia, una a principios de 1995 y otra en otoño de 1996. Estas tormentas modificaron, en un corto lapso, la ubicación de las bermas de tormenta así como las de mareas, cambiando en pocas horas el perfil de la playa.

En algunas playas existen diferencias de hasta 1

metro en la cota del Punto Estación, variaciones cuyos orígenes hay que atribuirlos a efectos eólicos, washovers y alteraciones antrópicas. En algunos casos, como la playa de Mar Azul, fue difícil establecer las condiciones de borde de los perfiles, ya que el espaldón natural es sistemáticamente eliminado, por lo que debemos aclarar que si bien no fue el objetivo del trabajo el analizar los cambios inducidos por el Hombre, su zona

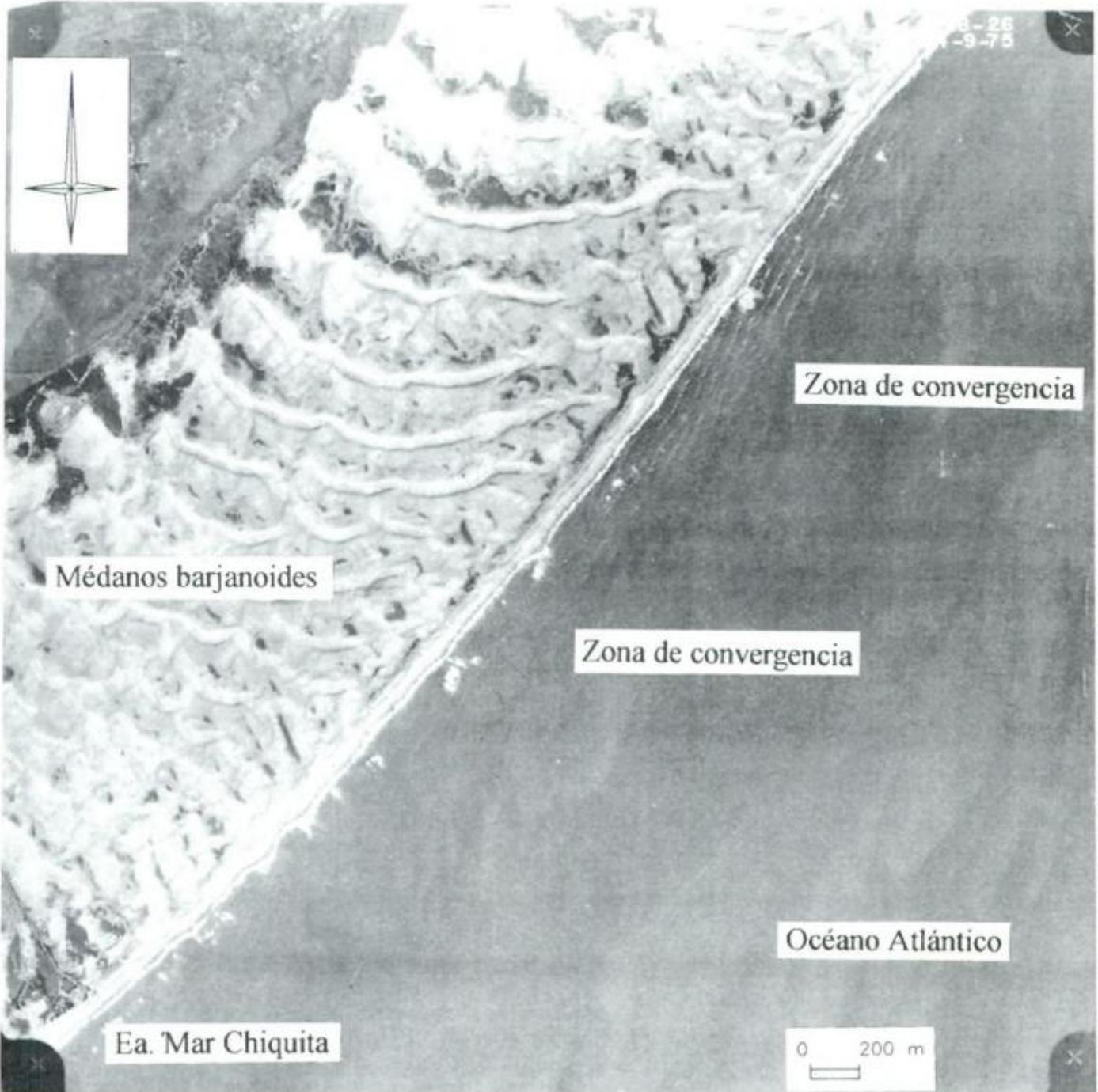


Figura 6: Fotografía aérea vertical de las costas al sur de la zona de trabajo. Observar el ángulo de ataque de las olas del Nordeste con un periodo de 6 segundos y una longitud de onda de 50 metros, provocando una deriva de norte a sur según Fig. 2.

distal ha sufrido alteraciones de morfología provocadas por las concesiones balnearias.

En cuanto a los efectos antrópicos, debemos distinguir entre los efectos episódicos causados por tormentas canalizadas hacia la playa, y los movimientos de arena que realizan la Municipalidad y los concesionarios de balnearios. El primer efecto es bien conocido en el Municipio de la Costa, donde los desagües pluviales son la mayor causa de erosión. En Villa Gesell, las calles transversales a la playa recorren viejas lagunas intermedanas asfaltadas o consolidadas. Las lluvias de verano se encauzan por estas calles provocando canales y escarpas en la playa. Recientemente, la Municipalidad construyó disipadores de la escorrentía para minimizar estos efectos erosivos causados por lluvias. En cuanto al movimiento de arenas, es común que los concesionarios alisen la topografía de las bermas y nivelen las playas, para iniciar la temporada veraniega para ubicar las diferentes atracciones sobre una playa lo más llana posible. A veces se explotan médanos cercanos para compensar la falta de arena; las zonas de préstamo pueden sufrir entonces erosión por causas no naturales.

Por lo observado en los gráficos de refracción, la batimetría es aproximadamente regular y oblicua a la línea de costa, e induce a notables cambios en la dirección de las crestas de ola. Estas modificaciones se deben a la presencia de los bancos arenosos, que actúan sustancialmente sobre las olas de largo período, modificando su ángulo de incidencia sobre las playas. Estos efectos de la batimetría en las olas puede reconocerse en ciertas fotografías aéreas verticales con convergencia de olas distinguibles en la zona de rompiente (Fig. 6). Estos efectos de refracción explican variaciones en la dinámica de las playas a lo largo de la costa y su variación temporal de sur a norte. Esta migración litoral en el sentido de su ángulo agudo respecto a la costa (hacia el norte), es similar a lo propuesto para los bancos alineados de la costa este de los Estados Unidos (Duane *et al.* 1972).

En relación con la deriva litoral de arenas, con vientos de incidencia norte, nordeste y este, la dirección es hacia el sur, en tanto que vientos del cuadrante sudeste, sur y sudoeste, generan deriva con dirección norte. Según los datos meteorológicos, en la zona los vientos más frecuentes son los del norte, en tanto que los más intensos son los del sudeste, sur y sudoeste, por lo que si bien el caudal neto de arena es en dirección norte, normalmente la deriva es hacia el sur.

Conclusiones

Durante los dos años relevados, se constató un saldo erosivo generalizado, aunque sesgado por una muy importante erosión en Soleado (Mar de las Pampas). En Mar Azul y Los Históricos hubo acumulación, y en el

balneario Caribe prácticamente los volúmenes permanecieron constantes.

Las playas de mayor pendiente (promedio) como Soleado (Mar de las Pampas) y Bucaneros, son las que en general muestran grandes volúmenes de sedimentos erosionados, en tanto que las de menor gradiente topográfico responden con acumulación.

Se pueden considerar cuatro procesos que interactúan en la modificación de las características de estas playas: ciclos estacionales invierno/verano (durante el verano se recupera la arena perdida en el invierno), ciclos episódicos ligados a tormentas, efectos antrópicos (urbanización, canalizaciones y/o cambios inducidos en el perfil de la playa). La presencia de bancos arenosos submareales modifican el ángulo de incidencia de las olas produciendo efectos locales.

El aumento de la pendiente regional hacia el norte indica playas más angostas y una menor disponibilidad de arena. Esto origina una mayor vulnerabilidad a las tormentas del sur.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las alumnas de la Universidad de Köln (Alemania) C. Raedeker y M. Reed y a M.C. Sánchez (Universidad de Salta) por la colaboración prestada durante las campañas, a la Técnica de Laboratorio Susana Serra por los análisis granulométricos y a G. Perillo y R. Violante por las importantes sugerencias y comentarios aportados.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Birkemeier, W., 1986. The interactive survey reduction program: User's manual. Coastal Engineering Research Center. 38 pp. Washington DC, USA.
- Caviglia, F., Pousa, J. y Lanfredi, N., 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. Memorias 2º Congreso de Ciencias de la Tierra: 413-422. Santiago, Chile.
- CERC (U.S. Army Coastal Engineering Research Center), 1977. Shore Protection Manual (Third ed.). U.S. Government Printing Office, Vol. 1 a 4. 2000 p. Washington DC, USA.
- Duane, D., Field, M., Meisburger, E., Swift, D. and Williams, S., 1972. Linear shoals on the Atlantic Inner Continental Shelf, Florida to Long Island. En: Swift D., Duane, D. y Pilkey, O. (Eds.). Shelf Sediment Transport: Process and Pattern, pp. 447-499. Stroudsburg.
- Elliott, A., 1990. Wave refraction in shallow water. Coastal and Estuarine Studies. UCES Report U90/7. 40 p. University College of North Wales, Marine Science Laboratories, U.K.
- Fasano, J., Hernández, M., Isla, F. y Schnack, E., 1982. Aspectos evolutivos y ambientales de la laguna Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires). Oceanológica 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(1): 3-26.
- Fox, W. y Davis, R., 1978. Seasonal variation in beach erosion

- Macizo de San Carlos, Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52 (4): 433-450.
- Martino, R.D., Guereschi, A. y Sfragulla, J. Los pliegues no cilíndricos de Sagrada Familia y su significado en la evolución deformacional del Macizo de San Carlos, Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* (en prensa).
- Mehnert, K.R., 1968. *Migmatites and Origin of Granitic Rocks*. Elsevier, 405 p., Amsterdam.
- Moore, J.M. y Kerrick, D.M., 1976. Equilibria in siliceous dolomites of the Alta aureole, Utah. *American Journal of Science*, 276: 502-524.
- Rice, J.M., 1977. Contact metamorphism of impure dolomitic limestone in the Boulder aureole, Montana. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 59: 237-259.
- Rice, J.M., 1980. Phase equilibria involving humite minerals in impure dolomitic limestones. Part I. Calculated stability of clinohumite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 71: 219-235.
- Ross, G.M., 1980. Geology and petrogenesis of marbles in the DeKalb area of Northern New York: Summary. *Geological Society of America Bulletin*, Parte 1, 91: 103-105.
- Schenk, V., 1984. Petrology of felsic granulites, metapelites, metabasics, ultramafics, and metacarbonates from Southern Calabria (Italy): prograde metamorphism, uplift and cooling of a former lower crust. *Journal of Petrology*, 25 (1): 255-298.
- Vullo, L.O., 1950. Informe geológico sobre las canteras de "Paso de Las Rosas". Informe inédito, 32 p. Biblioteca de la Dirección de Minería, Córdoba.
- Winkler, H.G.F., 1979. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Fifth Edition. Springer-Verlag, 348 p., New York.

Recibido: 30 de abril, 1998

Aceptado: 4 de abril, 1999