

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los sectores costeros representan uno de los ambientes más frágiles y cambiantes de todos los sistemas de la superficie terrestre.

La ocupación humana de las zonas costeras y, en particular, aquellas de interés turístico y recreativo, ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos 150 años. La expansión más notable de actividades y el incremento de su intensidad, asociados al desarrollo del turismo masivo, tuvo su manifestación después de la II Guerra Mundial, debido a las nuevas condiciones económicas y a la distribución de los beneficios en diferentes niveles sociales, incluyendo la mayor disponibilidad general de tiempo libre (Nordstrom, 2000). Esta expansión, que se produjo principalmente en el continente europeo y en las Américas, tuvo su manifestación en la Argentina, en lo que se denominó “turismo social”, que posibilitó el acceso a los beneficios del turismo a las clases medias y bajas.

Como consecuencia de este desarrollo se generaron múltiples necesidades de infraestructura y servicios, y las localidades costeras, con pocas excepciones, se fueron conformando sin una adecuada organización o planificación, en el marco de lo que actualmente denominamos “gestión integrada de la zona costera” (Masselink y Hughes, 2003).

Existe una abundante experiencia mundial en materia de costas arenosas, similares a las existentes en el litoral bonaerense. Gran parte de ellas sufren procesos erosivos, usualmente asociados a la acción humana, aunque en algunos casos se manifiestan procesos de acumulación. El sistema costero de este tipo funciona en términos de “balance de sedimentos”, es decir, de ganancias y pérdidas. Cuando éstas están compensadas, la playa mantiene su conformación, pero cuando se produce una disminución de las fuentes de alimentación la costa sufre erosión (Fig. 1). Por ejemplo, cuando las dunas son afectadas por la urbanización, extracción, nivelado y actividades recreativas, el límite con la playa sufre procesos erosivos por déficit de arenas y las playas se exponen a la acción destructiva de las ondas de tormenta. El sistema duna-playa es, entonces, un espacio frágil que requiere medidas de control y conservación.

El análisis de la variabilidad del litoral y de las tendencias de erosión-acreción es fundamental no sólo para el conocimiento científico, sino también para la ingeniería y el manejo de la zona costera. Es, además, de gran relevancia desde el punto de vista legal, aspecto en el cual se define el concepto y la aplicación de la “línea de ribera”.

En un sentido general, la línea de ribera puede definirse como la intersección de la superficie acuática y terrestre. Pero debido a la naturaleza dinámica de este límite y su dependencia de variables que actúan en diferentes escalas temporales y espaciales, por razones prácticas es necesario el uso de un conjunto de indicadores (Boak and Turner, 2005).

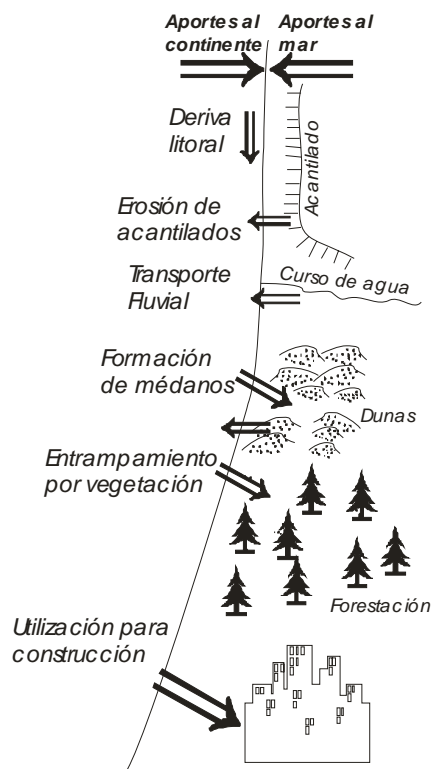


Figura 1. Representación esquemática del balance de sedimentos en un sistema litoral.

Por ejemplo, en costas micromareales, dominadas por olas, los registros mareográficos sistemáticamente subestiman las elevaciones y posiciones horizontales reales que el agua alcanza sobre la playa como resultado de su avance ascendente sobre la pendiente (“runup”, v. Glosario), alcanzando un nivel más alto que el indicado por el registro para el mismo instante y una mayor inundación. En playas arenosas de bajo gradiente, rasgos naturales tales como la escarpa de erosión (en médanos frontales) y la línea de vegetación reflejan precisamente las posiciones de los máximos niveles frecuentes del agua y la cresta del berma refleja la posición de las más frecuentes pleamares ordinarias, mientras que *los registros mareográficos consistentemente predicen menores niveles máximos y promedios de inundación de la playa* (Morton and Speed, 1998).

Las discrepancias entre las posiciones predichas y reales del agua en la playa tienen importantes implicancias científicas y legales. Las primeras involucran la definición y mapeo de rasgos de la línea de costa que reflejen las tendencias de largo plazo en el movimiento de la playa, pero no registran las fluctuaciones de corto plazo de las aguas. Ni la línea instantánea de pleamar (límite playa húmeda-seca) ni la cresta del berma satisfacen este requerimiento y, en consecuencia, no son recomendables para el monitoreo de la posición de la línea de costa tanto en el campo como a través de fotografías aéreas, a menos que no haya otra alternativa confiable.

Sobre los diferentes ambientes y, por ende, sobre las diferentes geoformas y tipos de sustrato, la constante acción del oleaje y de las corrientes litorales, asociada a la permanente influencia de las mareas, causan la conformación de diferentes morfologías, acrecentándose éstos

efectos por las tormentas, las que incrementan el nivel de las mareas y la energía del oleaje, aumentando sustancialmente el poder erosivo, manifestándose éste tanto en el retroceso de la línea de costa como en la modificación del perfil de la playa. En este sentido, uno de los cambios en el corto plazo y más marcados se dan por los efectos de las tormentas, volviendo en algunos casos a las condiciones previas por la acción de los procesos normales (Fig. 2).

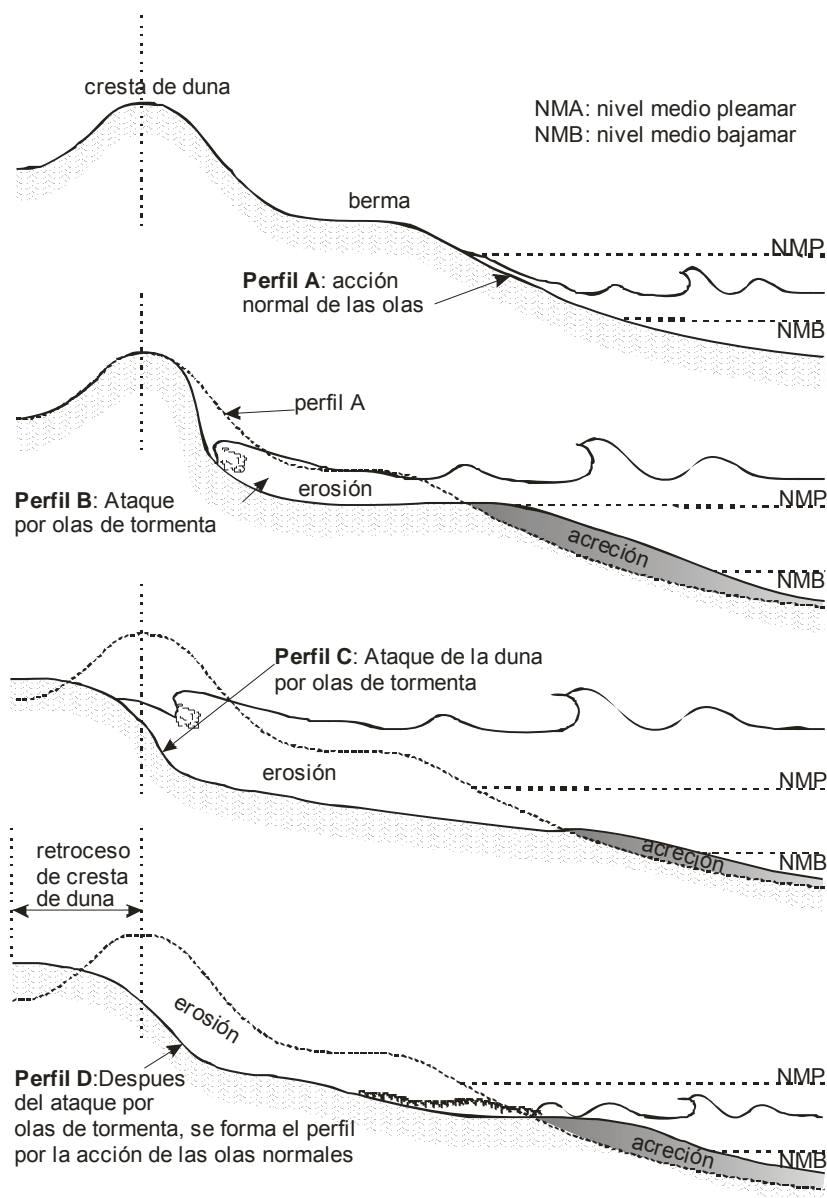


Figura 2. Modificaciones del perfil de la playa por olas de alta energía o acción de tormentas.

Las implicancias legales se relacionan con la propiedad y con sus límites que, por ejemplo, en los Estados Unidos son actualmente medidos, según los Estados y sus normativas, a partir de predicciones astronómicas o registros de mareógrafos, en muchos casos sobre la base de niveles

de mareas altas que dejan marcas físicas en los terrenos contiguos a las playas (Morton & Speed, 1998; Boak & Turner, 2005). Debido a que los niveles del agua son en realidad más altos en la playa que lo predicho por mareógrafos, las determinaciones basadas en un “datum” de marea otorgan más propiedad litoral al propietario del área lindante que la justificada por factores físicos o por el espíritu de la ley. Por lo tanto, las zonas sumergidas de dominio público abarcan menos playa que el área que es regularmente inundada por agua marina.

El Código Civil Argentino (art. 2340, inc. 4°) definió en su momento a las playas marítimas como “la extensión de tierra que las aguas bañan y desocupan en las más altas mareas, y no en ocasiones extraordinarias de tempestades”. Sin embargo, una modificación posterior del mismo artículo define:

“Quedan comprendidos entre los bienes públicos:

Inc.4 – **Las playas del mar** y las riberas internas de los ríos, entendiéndose por tales la **extensión de tierra que las aguas bañan o desocupan durante las altas mareas normales** o las crecidas medias ordinarias.” El subrayado se refiere al litoral marítimo.

Evidentemente, la modificación no significa un cambio de concepto sino que se interpreta como una rectificación tendiente a evitar una redundancia, ya que se entiende que las más altas mareas normales son astronómicas y predecibles. Este es el concepto de normalidad, pero da lugar a interpretaciones diversas si por normalidad se entiende también la ocurrencia de tormentas u otros fenómenos que tienen cierta recurrencia y por ende son considerados “normales”. Por ello en el presente estudio se proponen criterios que abarquen la totalidad de procesos que conforman la morfología costera.

En el ámbito provincial, el decreto 10391/87 en su artículo 2° manifiesta: Las metodologías y procedimientos de fijación de la línea de ribera marítima, estarán dados por un criterio mixto que contemple la cota de nivel de las altas mareas normales a partir de la totalidad de los fenómenos naturales que por su importancia y regularidad, pasan a convertirse en fenómenos normales, y la adaptación de esta al rasgo geomorfológico generado. En este último caso, sea el espaldón de la playa cuando hubiera desarrollo de médanos, o el pie del acantilado cuando no lo hubiera.

En base a esto se han seguido distintos criterios, ya sea basados en un nivel altimétrico de referencia o, más recientemente, en las disposiciones del Código de Aguas (Ley 12.257), que a su turno dispuso en su artículo 18 que para la demarcación de la línea de ribera “se considerará crecida media ordinaria a aquella que surja de promediar los máximos registrados en cada año durante los últimos cinco años”. También establece que “falta de registros confiables se determinará conforme a criterios hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y estadísticos evaluados a la luz de una sana y actualizada crítica”.

Teniendo en cuenta la complejidad del sistema costero es pertinente considerar indicadores perceptibles, tales como los rasgos geomórficos, y que puedan ser controlados a lo largo del tiempo, según los procesos dominantes.

Como consecuencia de los problemas que surgen en la determinación de la línea de ribera, para lo cual se han adoptado distintos criterios a lo largo del tiempo, la Autoridad del Agua gestionó ante el C.F.I. la contratación de un grupo de especialistas para elaborar los fundamentos geomorfológicos que contribuyan a esclarecer la metodología de aplicación de esta práctica.

El grupo estuvo integrado por investigadores especialistas en geología y dinámica de costas, con un aporte especial del Grupo de Geodesia Satelital de la FCAyG de la UNLP **(v. Anexo I)**.

Como podrá apreciarse en la lectura del presente informe, se realizó un pormenorizado análisis de los factores morfológicos y dinámicos asociados que condicionan la variabilidad de la costa, ajustados en todos los casos con una específica medición de los valores altimétricos a fin de relacionar los diferentes perfiles de playa con las cotas del IGN. Los trabajos de campo consistieron en la selección de diferentes localidades a fin de utilizarlos como casos testigos de las diferentes situaciones que encontramos en la costa, donde se realizaron las caracterizaciones geomorfológicas y perfiles de playa mediante relevamientos de campo (estudios de caso) en sectores representativos de la costa bonaerense. Uno de los sitios estudiados es un ambiente transicional, la Bahía Samborombón, en la cual se realizó un estudio de caso. El resto correspondió al litoral marítimo.

A partir del estudio realizado se aportan recomendaciones que no solo permitirán establecer la línea de ribera marítima, sino también dimensionar las diferentes variables que condicionan la morfología costera, indicando los diferentes factores que pueden intervenir en las fluctuaciones de la línea de costa.

Los criterios sustentados en este informe resultan en la ubicación de la línea de ribera de acuerdo a rasgos morfodinámicos:

- En costas bajas, arenosas, el pie del médano frontal, pero por razones morfodinámicas debe fijarse en la cresta de ese médano;
- En costas altas, la base del acantilado, pero a los fines prácticos, en su borde superior.
- En zonas transicionales (e.g. Bahía Samborombón), el borde superior de la pequeña escarpa que separa la marisma de la llanura de mareas.
- En áreas muy intervenidas, con obras y urbanizaciones sobre el frente costero, que imposibilitan la aplicación de indicadores morfológicos, se recomienda utilizar el término “línea de deslinde”.

## **2. CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS DE LA COSTA EN ESTUDIO**

La zona costera del litoral bonaerense y parcialmente del Río de la Plata, desde Punta Piedras hasta Necochea, presenta una gran variedad de morfologías que dependen de la evolución costera, las características litológicas y las condiciones hidro-oceanográficas.

### **2.1 Descripción de las características físicas oceanográficas**

Toda observación instantánea del nivel del mar, utilizando un registrador de marea, puede considerarse como la suma de tres partes componentes: marea astronómica, ondas de tormenta y nivel medio del mar. Los fenómenos físicos que las producen son diferentes y sus representaciones espectrales en el dominio de la frecuencia permiten estudiarlas separadamente. Sin embargo, este hecho no implica que el efecto total esté dado por la suma de los individuales, ya que debido a los efectos no lineales en aguas poco profundas, cada una de las partes componentes aquí mencionadas interactúa dinámicamente con las demás (Warrick *et al.*, 1992).

#### **2.1.1 Marea Astronómica**

La marea astronómica se define como la oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol que actúa sobre la Tierra en rotación. Este movimiento vertical es acompañado por uno horizontal denominado “corriente de marea”, provocado por las mismas causas. En la región de estudio el régimen de la marea astronómica, según la clasificación de Courtier, es mixto preponderantemente semidiurno, no exhibiendo una variabilidad espacial en amplitud muy pronunciada. Se observan generalmente dos pleamares y dos bajamares diarias, con una marcada desigualdad diurna (diferencia de alturas entre dos pleamares consecutivas), debida principalmente a la acción de la componente lunar principal declinacional diurna (O1).

Además del régimen de marea existen otros parámetros para caracterizar a este fenómeno. Ellos son, la bajamar astronómica más baja (Lowest Astronomical Tide, LAT), la pleamar astronómica más alta (Highest Astronomical Tide, HAT) y la amplitud astronómica extrema (Highest Range Astronomical Tide, HRAT). La Organización Hidrográfica Internacional (OHI) recomienda realizar el cálculo de estos parámetros a partir de una predicción de marea de 19 años calculada utilizando las constantes armónicas provenientes del procesamiento de una serie de observaciones de por lo menos un año de duración.

La OHI sugiere utilizar el LAT como cero de las cartas náuticas (plano de reducción de sondajes) y resuelve que el HAT es el Datum para espacios verticales, aunque también puede ser considerado como la cota más baja aceptada para la línea de costa o ribera. Finalmente el HRAT, que resulta de determinar la mayor diferencia entre una pleamar y la bajamar consecutiva durante un período de predicción de 19 años (precesión de la órbita lunar, v. Glosario), se utiliza al igual que el LAT y el HAT en la temática del medio ambiente costero.

En la Tabla 1 se presentan los valores del HAT y HRAT para ocho localidades comprendidas en la zona de estudio. Estos valores están referidos a ceros de medición de marea, cuyas cotas con respecto al nivel medio del mar en cada localidad, se presentan en la sexta columna de la mencionada tabla. En todos los casos los LAT coinciden con los respectivos ceros de medición.

Tabla 1. Valores del HAT y HRAT. Los valores del LAT son coincidentes con la cota del cero de medición.

<b>Estación</b>	<b>Latitud (S)</b>	<b>Longitud (W)</b>	<b>HAT(cm)</b>	<b>HRAT (cm)</b>	<b>Cota del Cero (cm)</b>
Punta Piedras	35° 26'	57° 07'	162	134	-85
Samborombón	35° 53'	57° 04'	177	148	-85
S. Clemente del Tuyú	36° 21'	56° 43'	187	161	-91
Santa Teresita	36° 32'	56° 40'	194	170	-91
Mar de Ajó	36° 44'	56° 40'	186	153	-91
Pinamar	37° 07'	56° 51'	188	157	-91
Mar del Plata	38° 02'	57° 31'	207	181	-91
Quequén	38° 35'	58° 42'	210	186	-98

Puede observarse en la Tabla 1 que, en general, los valores de HRAT se incrementan hacia el Sur, variando en 52 cm desde Punta Piedras hasta Quequén. En las localidades de San Clemente del Tuyú y Santa Teresita, se observa una mayor amplitud de marea que la registrada en Mar de Ajó y Pinamar, debido a la características geográficas y morfología de la zona.

### **2.1.2 Ondas de Tormenta**

El conocimiento de la marea astronómica no es suficiente para la toma de decisiones en el manejo costero debido a que frecuentemente se ve alterada por la presencia de ondas de tormenta (ODT), cuyo origen son los cambios bruscos de presión atmosférica y el efecto de arrastre del viento. Estas ondas modifican a la marea astronómica asociándose a las olas para ocasionar erosión costera, modificaciones del perfil de playa y dando origen a inundaciones (ODT positivas) o bajantes pronunciadas (ODT negativas). La duración de las ODT puede variar desde algunas horas hasta dos o tres días, ocurriendo las más importantes en regiones relativamente poco profundas, cuando el viento sopla durante varios días y sobre superficies extensas (Pugh, 1987).

En este informe se presentan los resultados del análisis de las ODT positivas y negativas en Mar del Plata ya que es la localidad, dentro de la zona estudiada, que cuenta con los registros más extensos y confiables y los resultados obtenidos pueden considerarse representativos del área comprendida entre San Clemente del Tuyú y Puerto Quequén.

Para este análisis se utilizan registros de alturas horarias correspondientes al período 1956–2005 con algunas interrupciones a partir del año 1980. Todas las observaciones fueron referidas a un mismo Datum. Para calcular los eventos de ODT se obtienen los residuos calculados como las diferencias entre las alturas de marea observada y las correspondientes alturas de marea astronómica o predicha. Debido a la longitud de la serie y a las interrupciones presentes se utiliza para el cálculo de las predicciones de marea los resultados de un análisis armónico correspondiente al período de mediciones 1962–1980. Luego para separar los eventos de ODT positivas de los residuos calculados se deben cumplir simultáneamente con las siguientes condiciones (D’Onofrio *et al.*, 2008):

- ✓ Que en ningún caso la altura durante todo el evento sea menor a 30 cm.
- ✓ Que la altura máxima alcanzada, durante todo el evento, resulte mayor o igual a 60 cm.
- ✓ Que la duración del evento sea mayor o igual a 6 horas.

En el caso de las ODT negativas, se debe cumplir simultáneamente las siguientes condiciones:

- ✓ Que en ningún caso la altura durante todo el evento sea mayor a -30 cm
- ✓ Que la altura más baja alcanzada, durante todo el evento, resulte menor o igual a -60 cm.
- ✓ Que la duración del evento sea mayor o igual a 6 horas.

En ambos casos, el umbral de  $\pm 30$  cm se adopta pues es el triple del error de  $\pm 10$  cm aceptado en las predicciones de las Tablas de Marea del Servicio de Hidrografía Naval y la duración de 6 horas se establece para evitar que se seleccionen como eventos ondas de largo período explicadas más adelante en este informe. De todo el conjunto de ODT positivas analizadas para Mar del Plata el mayor residuo es 192 cm y se produjo el 5 de diciembre de 1999 a las 2 horas, siendo la altura registrada en ese momento de 251 cm. La mayor altura de este evento se observa 2 horas después con 283 cm (Fig. 3).

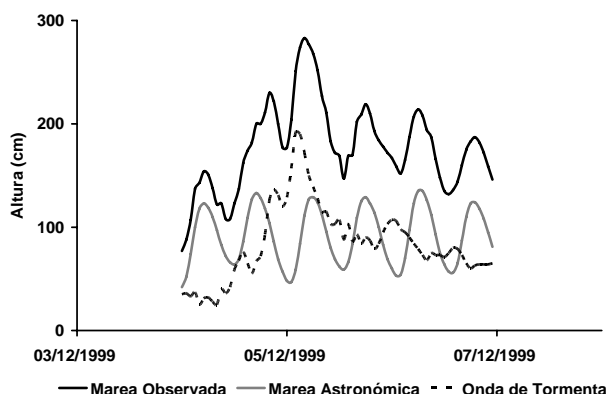


Figura 3. Evento de ODT positiva registrado en Mar del Plata.



Para las ODT negativas el mayor residuo es de -135 cm y se observa el 19 de Agosto de 1959 a las 8 horas (Fig. 4). La altura observada para ese momento fue -34 cm, habiéndose registrado la altura más baja (-76 cm) 5 horas antes.

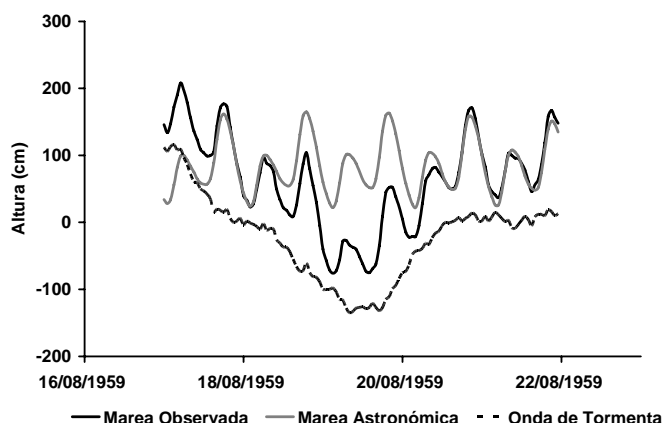


Figura 4. Evento de ODT negativa registrado en Mar del Plata.

Teniendo en cuenta los criterios adoptados para la elección de eventos de ODT se detectaron 1392 eventos de ODT positivas y 527 negativas. A continuación se presenta el análisis por décadas del número de eventos ocurridos, la duración y las alturas extremas alcanzadas.

Se observa en general un incremento en la frecuencia y duración de las ODT positivas y una disminución de las mismas variables para el caso de las negativas (Figs. 5 y 6). Para todo el período analizado la tendencia de los promedios decadales de eventos anuales de las ODT positivas es  $0,19 \pm 0,10$  eventos/año. Para las negativas esta tendencia es de  $-0,14 \pm 0,10$  eventos/año. En el caso de los promedios decadales de las duraciones, la tendencia de las ODT positivas es  $0,06 \pm 0,01$  h/año, correspondiendo para las negativas una tendencia de  $-0,10 \pm 0,01$  h/año.

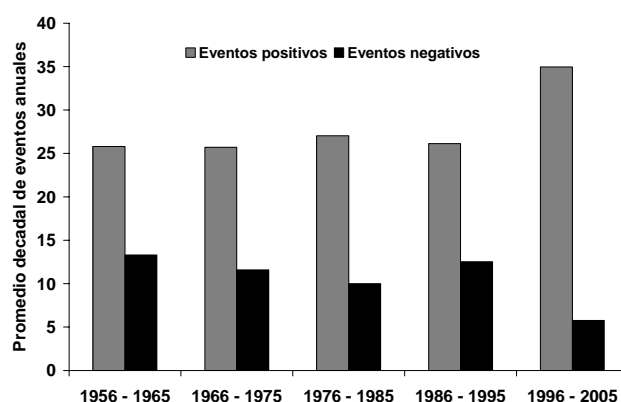


Figura 5. Promedio decadal de eventos anuales de ODT positivas y negativas registrados en Mar del Plata.

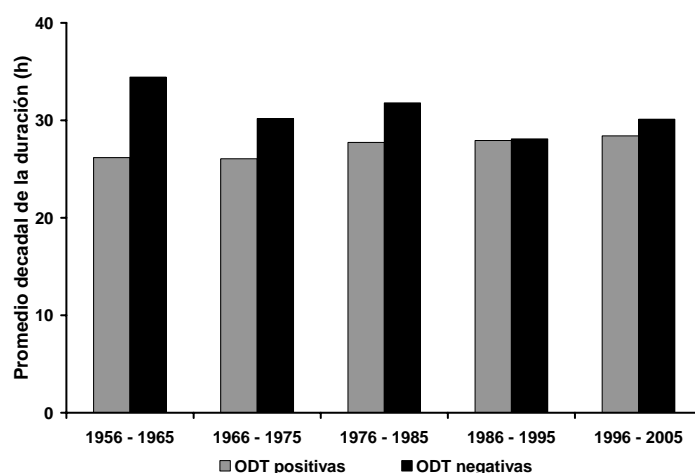


Figura 6. Promedio decadal de la duración de los eventos de ODT positivas y negativas registrados en Mar del Plata.

Los promedios tomados de las alturas máximas anuales de las ODT positivas presentan un incremento para todo el período, observándose los mayores valores en las dos últimas décadas (Fig. 7). Para todo el período se obtiene una tendencia de  $0,20 \pm 0,10$  cm/año. En contraposición la tendencia decadal para las alturas más bajas anuales de las ODT negativas ( $0,24 \pm 0,10$  cm/año) indica, como regla general, que las alturas alcanzadas son cada vez menos negativas.

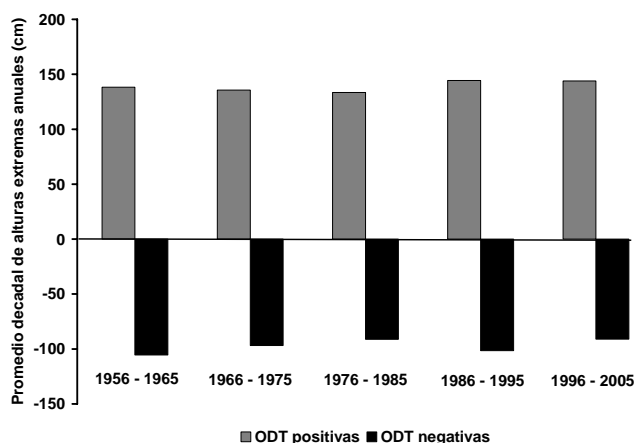


Figura 7. Promedio decadal de alturas extremas anuales de ODT positivas y negativas registradas en Mar del Plata

Los resultados obtenidos indican que para el período estudiado las ODT positivas son cada vez más altas, incrementando su frecuencia y duración. Por otra parte las ODT negativas resultan cada vez menos negativas, disminuyendo su frecuencia y duración.

Los niveles extremos de marea son originados fundamentalmente por la combinación de altas mareas astronómicas con ondas de tormenta. En la Tabla 2 se presentan valores extremos de

marea observada correspondientes a grandes crecientes y bajantes para seis localidades ubicadas en la zona de estudio.

Tabla 2. Pleamares y Bajamares extremas referidas a los ceros de medición

<b>Estación</b>	<b>Cota del Cero (cm)</b>	<b>Pleamar más alta (cm)/fecha</b>	<b>Bajamar más baja (cm)/fecha</b>	<b>Período de medición</b>
San Clemente del Tuyú	-91	373 (3/1978)	-80 (6/1990)	1973/2002
Santa Teresita	-91	302 (3/2006)	-49 (9/2006)	2003/2009
Mar de Ajó	-91	270 (2/1979)	-59 (4/1980)	1974/1984
Pinamar	-91	272 (2/1979)	-45 (8/1976)	1974/1984
Mar del Plata	-91	320 (4/1997)	-103 (7/1954)	1953/2009
Quequén	-98	357 (7/1962)	-136 (8/1959)	1950/2006

Estos valores están referidos a ceros de medición de marea, cuyas cotas con respecto al nivel medio del mar en cada localidad, se presentan en la segunda columna de la Tabla 2.

### **2.1.3 Nivel medio del mar**

Otra variable a considerar es el Nivel Medio del Mar (NMM) que se define como la media aritmética de alturas registradas en una estación mareográfica en forma horaria (o en un intervalo menor), obtenidas durante un período variable, pero siempre conteniendo ciclos completos de marea (por ejemplo, un mes, un año o diecinueve años). De esta manera se logra eliminar la contribución de la marea en el cálculo del nivel medio. Una relación que es importante señalar, ya que es crucial para el desarrollo de trabajos geodésicos, geofísicos y oceanográficos, es que el nivel medio del mar es una buena primera aproximación al geoide. En un sentido estricto, el geoide es la superficie de nivel del campo de gravedad terrestre que se aproxima al nivel medio del mar determinado por series de 18,67 años de observación (ciclos de los nodos de la Luna), corregidas por modelos de circulación, de influencia meteorológica y de tectónica de placas. El nivel medio calculado a partir de una serie de alturas de marea de 19 años, sin efectuar estas últimas correcciones, tendrá diferencias con el geoide que en los casos más desfavorables pueden exceder el metro (Pugh, 1987).

A partir de la década del 80, se han realizado cálculos para evaluar la tendencia del NMM referida a puntos fijos en tierra, en las costas argentinas, obteniéndose resultados que concuerdan con los obtenidos a nivel mundial (aproximadamente +2mm/año, para el siglo XX). Antiguamente al

momento de diseñar infraestructuras costeras eran sólo consideradas las variaciones espaciales del nivel medio del mar, pero en la actualidad debe tenerse en cuenta como una variable espacial y temporal que cobra mayor importancia en relación directa con la vida útil del proyecto.

En este informe se presenta, para Mar del Plata, la tendencia relativa del NMM y su aceleración. La serie utilizada, registrada en las estaciones que el Servicio de Hidrografía Naval dispone en Mar del Plata, corresponde al período 1953–2005 (Fig. 8). Para calcular la tendencia del nivel medio, deben atenuarse previamente las contribuciones astronómicas con períodos mayores a un año, debido a que no fueron eliminadas al realizar el cálculo del nivel medio anual. Para esto, se utiliza un filtro numérico pasabajos, diseñado a partir de la ventana de Kaiser – Bessel. El cálculo de la tendencia se realiza ajustando una recta, por el método de cuadrados mínimos, a la serie filtrada (Fig. 8).

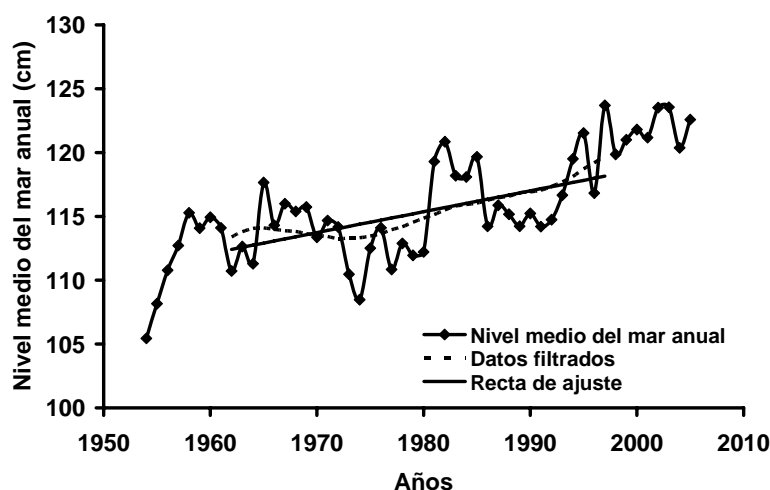


Figura 8. Niveles medios anuales, datos filtrados y recta de ajuste por Cuadrados mínimos para Mar del Plata. Fuente: (Fiore et al., 2009).

La tendencia relativa del nivel medio del mar obtenida fue  $1,6 \pm 0,1$  mm/año para el período 1953–2005, con un coeficiente de determinación de 0,84 (Fiore et al., 2009). Estos valores son concordantes con los presentados a escala global, para los últimos 100 años, por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Un mayor nivel medio produce que las alturas extremas de marea durante una tormenta alcancen valores más altos, inundando una mayor superficie de terreno y aumentando el impacto erosivo de las olas sobre la costa, pues estas últimas pueden penetrar más en la playa.*

### 2.1.4 Corrientes

Las corrientes predominantes o más evidentes en el área costera comprendida entre Punta Piedras y Puerto Quequén son las asociadas a la marea astronómica y, especialmente, la correspondiente a la componente semidiurna lunar principal ( $M_2$ ). En esta región costera se verifican diariamente dos situaciones de flujo (corrientes con rumbo predominante hacia el N, en marea creciente, durante 3-5 h antes de las pleamares) y dos de reflujo (corrientes predominantemente hacia el S, en marea bajante, durante 3-5 h antes de las bajamares). Entre ambas condiciones (la de flujo y la de reflujo) se observa un período de aproximadamente una hora de duración (o menos) conocido como estoa durante el cual las corrientes son mínimas o prácticamente nulas. Un poco antes de las estoas, las corrientes de marea se debilitan gradualmente en intensidad, para luego comenzar a intensificarse progresivamente hasta alcanzar intensidades máximas con un cambio de rumbo de aproximadamente  $180^\circ$ .

En términos generales puede decirse que las corrientes de marea en las regiones costeras fluyen prácticamente paralelas a la costa y, en consecuencia, la elipse de corrientes durante un ciclo completo de marea tiende a estar representada por un simple segmento. Esto es debido a un fenómeno conocido como rectificación topográfica. A medida que la distancia a la costa aumenta, la rectificación topográfica se hace menos evidente y las corrientes de marea durante su ciclo construyen el clásico patrón elíptico, siendo éste menos excéntrico a medida que la distancia a la costa aumenta. En la Fig. 9 se presenta la distribución espacial de los ejes mayores y menores de las elipses de marea correspondientes a la componente  $M_2$  obtenido en un estudio numérico realizado por Simionato *et al.* (2004).

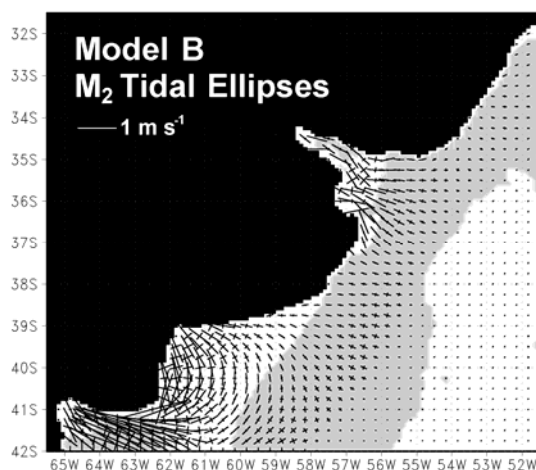


Figura 9. Ejes mayores y menores de las elipses de corrientes de marea ( $M_2$ ). Las áreas sombreadas indican rotación antihoraria de la corriente de marea. Fuente: Simionato *et al.* (2004).

En Punta Piedras las corrientes de marea son de aproximadamente  $0.40\text{-}0.60\text{ ms}^{-1}$ . En las inmediaciones de Punta Rasa las intensidades pueden alcanzar valores un poco más altos.

Durante condiciones de calma o de vientos débiles en el Río de la Plata se verifica una corriente “permanente” asociada a la descarga de los ríos Paraná y Uruguay que fluye predominantemente hacia su desembocadura. Consecuentemente, debido a la superposición entre las corrientes de marea y la permanente, las condiciones de flujo (hacia el Río de la Plata Superior, en creciente) son un poco más débiles que las de reflujo. En condiciones de vientos persistentes, de moderados a fuertes, el patrón de corrientes descrito precedentemente se desdibuja sustancialmente dominando en estos casos las corrientes de deriva (generadas por el viento). Las corrientes de deriva, en aguas abiertas lejanas a la costa, fluyen unos 20-40° hacia la izquierda de la dirección del viento y, en aguas costeras, es prácticamente paralela a la costa debido a la mencionada rectificación topográfica. La intensidad de la corriente de deriva es, en términos generales, aproximadamente del 1-3% de la intensidad del viento. Las condiciones de máximas corrientes ocurren durante las “Sudestadas”, pudiendo las intensidades alcanzar  $1 \text{ ms}^{-1}$ .

En la costa atlántica bonaerense, entre Punta Rasa y Puerto Quequén, las corrientes de marea son un poco menos intensas (aproximadamente,  $0.20\text{-}0.30 \text{ ms}^{-1}$ ) que en la zona aledaña a Punta Rasa. En esta región atlántica no existe una corriente permanente neta, aunque hay algunas evidencias Bianchi (2005) que señalan la existencia de un transporte de masa hacia el N en la plataforma continental el cual, traducido a intensidades de corrientes, en la zona costera, podría ser estimado en un valor del orden de  $0.10 \text{ ms}^{-1}$ . Al igual que en el Río de la Plata, durante condiciones de vientos persistentes e intensos (especialmente del SE) se originan corrientes de deriva muy intensas las cuales enmascaran en el patrón de corrientes de marea predominante, produciendo una corriente neta (asociada a la onda de tormenta) que fluye paralelamente a la costa predominantemente hacia el N.

### **2.1.5 Olas**

En la región costera bonaerense no se dispone de una satisfactoria cobertura en lo que respecta a mediciones directas de olas. Las escasas observaciones directas de olas han sido utilizadas para validar modelos regionales (Dragani et al., 2010) de los cuales se pueden obtener información cuantitativa para toda la plataforma bonaerense y el Río de la Plata Exterior. Sobre la base de ese estudio numérico, en términos generales, se observa que las alturas de olas disminuyen hacia la costa. En la zona de la bahía Samborombón las alturas significativas ( $H_s$ : promedio del tercio de las alturas más altas del registro) medias de olas están comprendidas entre 0.50 y 0.70 m, en la zona costera del Partido de la Costa (entre Punta Rasa y Punta Médanos) las alturas medias van entre 0.70 y 0.90 m, entre Punta Médanos y Cabo Corrientes de 0.80 y 1.00 m y, entre cabo Corrientes y Puerto Quequén entre 1.00 y 1.20 m. Aguas afuera (off-shore) las alturas medias aumentan gradualmente alcanzando en la región del talud continental valores comprendidos entre 1.50 y 2.00 m (Fig. 10).

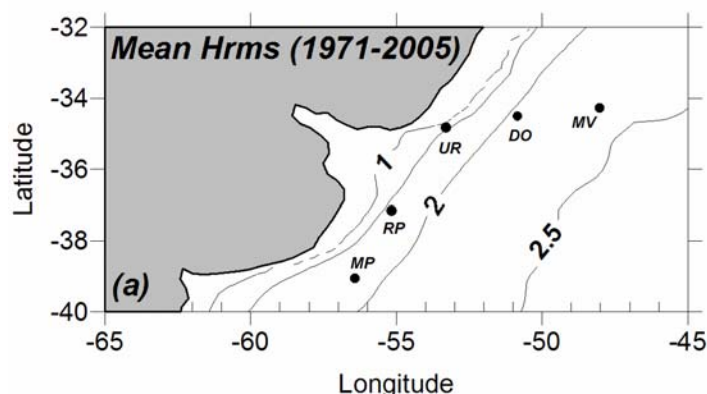


Figura 10. Campo de altura de ola significativa media (período: 1971-2005). Contornos en m. Fuente: Dragan et al. (2010).

En la localidad de Pinamar el Servicio de Hidrografía Naval dispone de un observador de olas permanente (desde 1979 hasta la actualidad) el cual colecta dos conjuntos de observaciones costeras diarias. Sobre la base de todo ese volumen de información se obtuvo que la altura y período medios correspondientes a dicha localidad son de 0.87 m y 9.2 s, respectivamente.

En condiciones extremadamente energéticas, durante tormentas severas, las alturas de olas pueden aumentar significativamente respecto de los valores medios indicados precedentemente. Por ejemplo, algunas observaciones directas, obtenidas con un ológrafo anclado en la boca del Río de la Plata, revelan alturas significativas de hasta 4.50 m y, en la localidad costera de Pinamar se observaron alturas de hasta 5.50 m. Por otro lado, en la plataforma continental bonaerense las simulaciones numéricas producen alturas significativas de olas del orden de 10 m.

#### 2.1.6 Transporte litoral asociado a las olas (Longshore transport)

Está ampliamente documentado que la incidencia oblicua de las olas sobre la playa generan corrientes paralelas a la costa confinadas en una franja comprendida entre esta última y un par de veces el ancho de la zona de rompientes (CERC, 1984; CERC, 2010). En la bahía Samborombón, las únicas observaciones de campo de estas corrientes reportadas en la bibliografía se realizaron entre 1987 y 1992, en Atalaya, Punta Indio y Punta Piedras, en donde se pudieron medir débiles corrientes litorales con intensidades inferiores a  $0.20 \text{ m s}^{-1}$  asociadas a incipientes rompientes (COBA, 1993). Es importante resaltar en el Río de la Plata la diferencia existente entre el transporte de la corriente permanente (proveniente del NW, asociada a la descarga natural) del transporte asociado a la corriente litoral ("longshore current"). El primero está vinculado a la descarga de los ríos Paraná y Uruguay y el segundo, en general, se manifiesta en condiciones de vientos moderados a fuertes del cuadrante SE y está directamente asociado al oleaje proveniente del SE. Las consecuencias de este último se ven reflejadas, por un lado, en la evolución de las

formas costeras naturales produciendo el desvío hacia el N de las desembocaduras de canales o arroyos naturales o artificiales y, por el otro, en la sedimentación evidenciada sobre el flanco S de las estructuras. En la costa atlántica bonaerense existen muy pocas observaciones directas de esta corriente. Sin embargo, algunas mediciones de campo indican que la intensidad de estas corrientes litorales pueden alcanzar los  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  (Dragani et al., 1995). En el litoral Atlántico, estas corrientes litorales son las responsables del transporte de arena paralelo a la costa. En general el transporte neto de arena es predominantemente de S a N. En regiones con presencia de grandes obras costeras (como, por ejemplo, los puertos de Mar del Plata y Quequén) el transporte litoral de arena es retenido por las estructuras produciendo la acumulación de sedimentos sobre los flancos sur de las escolleras sur en ambos puertos mencionados y una gradual y persistente erosión hacia el norte de las escolleras norte. Actualmente se están verificando algunos síntomas de erosión en la bahía Samborombón y en Punta Rasa, los cuales, a priori, no estarían directamente vinculados con la actividad humana. En principio se plantea la hipótesis de que dicha erosión podría deberse a un leve cambio en las direcciones predominantes del oleaje (producido por un suave corrimiento hacia el S del anticiclón semi-permanente del Atlántico Sur) y/o a un leve aumento de las alturas y/o frecuencias de ocurrencia de las ondas de tormenta en la región (Dragani et al., 2010).

#### **2.1.7 Ondas de largo período (Long ocean waves or long period waves)**

Existen muchos reportes que evidencian la presencia esporádica o transitoria de perturbaciones del nivel del mar en la costa atlántica bonaerense, entre Mar de Ajó y Quequén. Dichas perturbaciones aparecen como oscilaciones superpuestas a la marea con períodos comprendidos entre 15-20 min y 2 h conocidas regionalmente como “ondas de largo período”. Las mismas tienen alturas que normalmente están comprendidas entre 0.1 y 0.5 m pudiendo, muy eventualmente, superar la altura de 1 m. Aunque la estructura espectral de estas ondas es muy similar a la de los tsunamis, se ha comprobado fehacientemente que las ondas de largo período bonaerenses tienen un origen netamente meteorológico. Las ondas de largo período están asociadas a pasajes de frentes fríos por la plataforma continental bonaerense y a la presencia de ondas de gravedad en la atmósfera (Dragani et al., 2002; Dragani, 2006). Se ha observado que los episodios en donde se registraron ondas de largo período siempre tuvieron asociados la presencia de un pasaje frontal frío, pero no siempre cuando se verifica un pasaje frontal se producen ondas de largo período en la región marítima de influencia. Las ondas de largo período por lo general se propagan de S a N, registrándose primeramente en Puerto Quequén y, posteriormente, en Mar del Plata, Pinamar y Mar de Ajó. En la Fig.11 se presenta un registro de niveles del mar correspondiente a Puerto Quequén en el cual las perturbaciones de alta frecuencia mencionadas se superponen claramente a la marea de origen astronómico. En la misma figura se presenta el registro de niveles del mar filtrados con un filtro pasa-banda en donde se aprecia que



las ondas de largo período han sido aisladas. Por otro lado, es de destacar que el único caso en el que se registraron perturbaciones del nivel del mar asociadas a la ocurrencia de un tsunami en la costa atlántica bonaerense fue en diciembre de 2004, 23 h más tarde de la ocurrencia del terremoto submarino de Sumatra (Indonesia, Sudeste Asiático) alcanzando amplitudes del orden de 0.10-0.15 m y periodicidades entre 20 min y 2-3 h (Dragani et al., 2006).

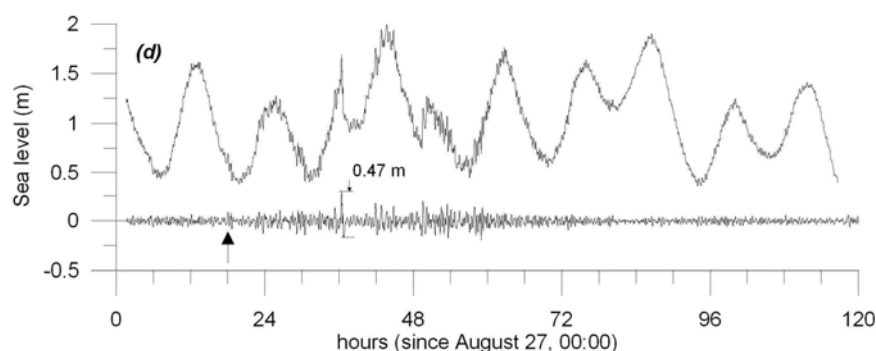


Figura 11. Niveles instantáneos del mar (observados y filtrados) registrados en Quequén (agosto, 1982). Fuente: Dragani et al. (2009).

## 2.2 RASGOS GEOMÓRFICOS Y MORFODINÁMICOS

Desde el punto de vista geomorfológico, podemos realizar una clasificación primaria de los principales tipos de costas que es posible individualizar en la zona de estudio, que en principio dividiremos en costas “altas” y costas “bajas”. Esta división es de carácter general, pero a los fines del presente estudio se hará referencia a la costa atlántica bonaerense. En ambos tipos de costa aparece como rasgo fundamental la playa, con distintos grados de desarrollo (i.e. disponibilidad de sedimentos) y rasgos típicos. El desarrollo de estos ambientes costeros se ha relacionado con factores morfodinámicos y evolutivos, implicando los procesos actuales y aquellos actuantes en la escala geológica más reciente (Isla et al., 1998; Isla y Bértola, 2005). A lo largo del litoral atlántico bonaerense, se desarrollan extensas zonas de costas bajas, compuestas por una variedad de ambientes consistentes en playas, lagunas costeras, planicies intermareales, bahías, deltas, entre las más importantes.

Una clasificación ecogeomorfológica de los ambientes costeros del litoral bonaerense objeto de este estudio está ilustrada en la figura 12.

Desde el punto de vista geomorfológico el área de trabajo se puede dividir en cuatro zonas, fundamentalmente en función de sus características geomorfológicas, en: Región de la Bahía Samborombón, Barrera Arenosa Oriental (desde Punta Rasa a Mar Chiquita), zonas de acantilados (Mar Chiquita–Miramar) y Barrera Medanosa Austral (Miramar-Necochea) las que a su vez presentan algunas particularidades y permiten establecer subdivisiones.

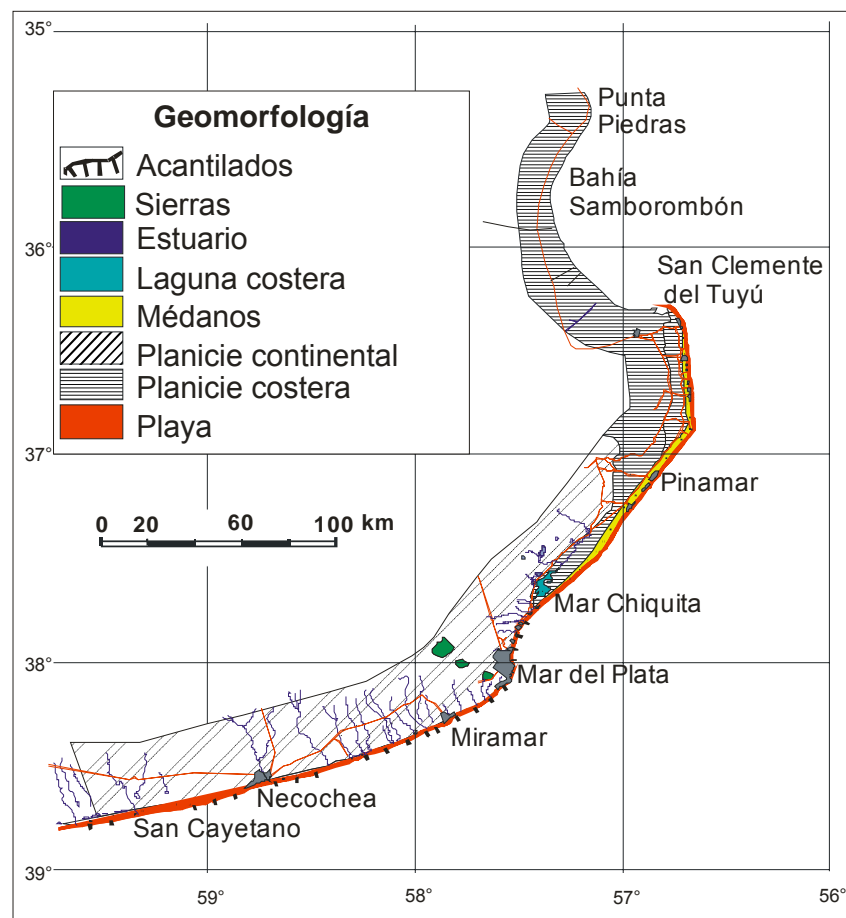


Figura 12. Mapa geomorfológico del litoral atlántico de la provincia de Buenos Aires (modificado de Bértola, 2001; Isla, 2002).

### 2.2.1 Costas bajas

La morfología de estas costas está condicionada fundamentalmente por un escaso gradiente topográfico regional y local, el tipo de marea, los factores climáticos y oceanográficos, y la acción antrópica. Estos sistemas constituyen a veces sectores difíciles para delimitar con precisión la línea de ribera. Podemos observar un ambiente transicional (Bahía Samborombón) y dos barreras medanosas que pueden ser individualizadas en el litoral bonaerense correspondiente a la zona de estudio: La **Barrera Medanosa Oriental** que se desarrolla de Punta Rasa hasta Mar Chiquita y la **Barrera Medanosa Austral** que se extiende desde Miramar hasta Baterías, más allá de la zona de este estudio.

### **2.2.1.1 Bahía Samborombón**

De acuerdo al área de trabajo y en función del análisis de las imágenes aéreas y satelitales, en la Bahía Samborombón, se observan tres sectores bien diferenciados, los que a su vez pueden separarse: un sector donde coexisten vegetación de agua dulce con halofitas y lagunas esporádicas donde hay acumulación de agua dulce y salobre, sector que llega hasta el límite de las pleamares normales de sicigias y denominada como Zona Supramareal; un segundo sector, bajo la influencia continua de las mareas y casi sin vegetación denominada Zona Intermareal, y un tercer sector, por debajo del nivel de bajamares de sicigia y hasta la profundidad de máxima influencia de las olas, denominada Zona Submareal. Los tres sectores se vinculan genéticamente a través de un proceso de progradación, ya que la actual zona supramareal está instalada en zonas donde antiguamente había ambientes inter y submareales. Esta lenta progradación origina que los ambientes evolucionen en el tiempo, pasando de ambientes costeros a ambientes continentales, no conectados directamente con las aguas de la bahía. Por debajo de los mismos, se pueden individualizar niveles continentales y marinos que confirman la existencia de variaciones en el nivel del mar, que originaron cambios zonales dentro de la evolución ambiental del área.

La bahía posee características propias (sedimentológicas, geomorfológicas, dinámicas) que la diferencian de las costas ubicadas al Norte de Punta Piedras y al Sur de Punta Rasa, así como una historia geológica propia. Ello se debe principalmente a la interacción entre la dinámica del Río de La Plata y del Océano Atlántico, que junto con los vientos y mareas completan los actores físicos que modelan estos ambientes. También la acción biológica condiciona las características del sedimento según fenómenos de reabajamiento y bioturbación.

Se puede reconocer en la Bahía los siguientes ambientes:

- **Ambiente Submareal**

El nivel submareal juega un rol importante en el intercambio de sedimentos con los ambientes topográficamente más elevados; sus estructuras sedimentarias y características dinámicas están influenciadas por corrientes de marea y fricción del viento (olas). Este ambiente se circunscribe al interior de la bahía desde una profundidad de 10 metros y hasta el nivel de baja marea. Ese nivel fue calculado ya que es la profundidad donde el movimiento orbital de las partículas en el agua originadas por las olas, desaparece (Guerrero et al., 1989).

Esta zona, que se encuentra siempre sumergida, posee características que le son distintivas y que deben ser analizadas para una comprensión integral de los ambientes mareales de la bahía. En base a los datos regionales de las muestras superficiales de fondo del Río de La Plata obtenidos por el Servicio de Hidrografía Naval (1975), se observó que los sedimentos más finos están confinados al interior del estuario, mientras que sobre la plataforma continental adyacente

predominan las fracciones arenosas. Dentro de la Bahía Samborombón, los sedimentos pelíticos (limos y arcillas) alcanzan un elevado porcentaje del sedimento total.

En relación con su morfología, el fondo de la Bahía Samborombón es plano, con una pendiente poco pronunciada hacia mar afuera (Franja Costera Sur, Cavallotto, 1989). Estudios más recientes realizados mediante registros sonográficos y fotografías del fondo (Marcolini et al., 1992) describen formas de fondo en surcos longitudinales, éstas son depresiones lineales con anchos entre 200 y 700 metros y no más de 1 de profundidad relacionadas a procesos erosivos de los canales de marea, y con velocidades para su formación de 150 cm/s. Otras estructuras que se encuentran, son las denominadas óndulas menores con longitudes de onda de 30 cm aproximadamente y originadas por corrientes de marea. Para su formación, se necesitan velocidades mínimas de 20 cm/s, muy comunes en esta zona.

En el Arroyo San Clemente y en la costa Noroeste del Faro San Antonio, se ha podido observar estructuras de óndulas con características distintas a las antes mencionadas en relación con su forma y origen; éstas son producidas por olas (viento), tienen 4 cm de longitud de onda y muchas de ellas están erosionadas en su cresta por acción del oleaje. En el submareal comienzan comportándose como óndulas rectas, pasan a linguoides y terminan en el ambiente intermareal bajo, como linguoides con fango en sus senos (flaser).

#### • **Bancos Arenosos**

Al NE y NW de Punta Rasa, puede observarse la presencia de bancos arenosos y un aumento general de la granulometría de los sedimentos de fondo. Se explica por un incremento de la dinámica marina por sobre la dinámica de la bahía. Los Bancos denominados de San Agustín, del Tuyú y del Cabo, a 2,4 y 12 km respectivamente de Punta Rasa, dada su posición, están fuertemente influenciados por procesos estuáricos y marinos.

La convergencia de las corrientes fluviales y marinas, motiva una disminución de la energía y pérdida de capacidad de transporte. Es así que parte del material que lleva el océano se deposita en forma de bancos. En estas zonas influyen las corrientes litorales y de deriva, así como las corrientes de marea. Estas últimas alcanzan velocidades de 75 cm/s durante el flujo y reflujo, pudiendo llegar a 2 m/s cuando soplan vientos fuertes en la misma dirección de las corrientes.

Los muestreos regionales realizados por el Servicio de Hidrografía Naval (1975) arrojan que en general el sustrato más viejo es pelítico, pero los bancos son de arena fina a muy fina (2 a 4 Ø), el contenido de carbonato de calcio no supera el 1,5% y la fracción psefítica no es mayor del 0,03% del total, sus arenas poseen entre un 6 y un 10% de minerales pesados; son pobres a muy pobremente seleccionadas y de asimetría muy positiva, indicando gran variación de tamaños en una misma muestra y ambientes mixtos.

Los Bancos del Cabo y del Tuyú poseen forma elongada con dirección 115°N, en tanto que el Banco de San Agustín, también de forma elongada, está orientado en dirección 75°N. El Banco del Tuyú emerge diariamente con las fluctuaciones de marea, en tanto que el del Cabo y San Agustín poseen profundidades de hasta 3 metros por debajo de la media de las bajamares.

Por comparación entre mapas batimétricos de distintos años, puede notarse que el Banco del Tuyú se ha ido moviendo continuamente hacia el sector NNE en los últimos 40 años, recorriendo más de 1.600 metros; desde 1965 a la actualidad derivó hacia el Sudeste y Oeste generando un movimiento en espiral a no más de 1.000 metros de su primera medición en 1923. Su velocidad promedio con respecto a la primera batimetría es de 23 metros/año y queda al descubierto sólo en bajamares ordinarias. El Banco San Agustín en tanto, ha ido creciendo elongándose hacia el Noreste a razón de 22 metros anuales, y también ha descrito un movimiento en espiral. Su profundidad permanece constante y cercana a los 3 metros por debajo del nivel medio de las bajamares.

- ***Ambiente Intermareal o de Planicies Mareales***

La pendiente regional de estos ambientes varía entre 0,03% y 1%, ello significa que la ola que se acerca hacia la costa, debe recorrer grandes distancias generándose una disminución progresiva de su capacidad de carga, que se ve reflejado en la zonación granulométrica ya nombrada. En condiciones normales los sedimentos más pesados, como conchillas y arenas son depositados primero en los niveles topográficos más bajos, en tanto que los sedimentos pelíticos siguen en suspensión durante más tiempo, y son depositados topográficamente más elevados y cerca del continente. La presencia en planicies fangosas de niveles cordoniformes de conchilla y/o arena denominadas “cheniers”, indica que durante épocas de tormenta y altas mareas de sicigia, las olas pueden conservar parte de esa capacidad de transporte hasta niveles donde antes sólo llegaba material pelítico, depositando sobre ellos, en forma selectiva, materiales más gruesos. Asimismo su génesis está relacionada a un proceso erosivo y debido a la energía suplementaria de las tormentas, una selección sedimentaria. En toda la bahía pueden constatarse ejemplos de este tipo de acumulaciones, sobre todo en las bocas de los canales y ríos indicando que ellos tendrían participación en su génesis.

El ambiente intermareal se dividió para su mejor estudio, en un intermareal bajo que se extiende desde el nivel de bajamares de sicigias al nivel de pleamares de cuadraturas, quedando diariamente sumergida y parcialmente expuesta, y un intermareal alto que va desde ese nivel de pleamares de cuadraturas al nivel de pleamares de sicigias. Este nivel es en la bahía, de aproximadamente 1 metro sobre el nivel del mar, quedando sumergido por completo unos pocos días al mes. Esta distinta exposición y por lo tanto diferente respuesta dinámica, puede constatarse por los sedimentos levemente más gruesos en el intermareal bajo que en el alto. Este último puede

encontrarse invadido por vegetación halófila como *Spartina sp.*, que indicaría un avance de la marisma por sobre el ambiente intermareal alto (este hecho se ha podido constatar además por comparación entre mapas IGM y fotografías aéreas).

- **Canales mareales**

Los canales mareales constituyen un factor importante en el intercambio de agua salada desde el sistema estuárico al de planicie mareal y marisma. El intercambio se produce en dos sentidos, el ingreso de agua salada por efectos de la marea en forma de manto y su egreso canalizado, y de agua de lluvia que cae sobre las planicies mareales y marismas, se encauza por los canales y desagua en el mar.

De este modo podemos observar que los canales mareales principales de la bahía son monocanales rectos, con una relación ancho/profundidad promedio de 35 y con alta estabilidad, confirmada por comparación de fotografías aéreas de distintos años; el transporte de sedimentos puede ser por suspensión, tracción o mezcla. En tanto que sus afluentes (canales secundarios), menores en tamaño (ancho, profundidad y longitud), son más susceptibles de evolucionar lateralmente por su propia morfología de tipo meandrosa y sólo transportan sedimentos de granulometría fina.



Fig. 15. Canales de marea en la Bahía Samborombón.

En la bahía, los canales secundarios son meandrosos y los principales son rectos. Esto se explicaría ya que los canales principales están influenciados por movimientos bidireccionales (flujo y reflujo), en tanto que los secundarios estarían influenciados por movimientos unidireccionales

(reflujo). Es decir, el comportamiento de los canales mareales secundarios se aproximaría más a las características aplicadas para los canales fluviales, que los primarios.

- **Ambiente Supramareal o Marismas**

En la definición de marisma viene implícito el concepto del área colonizada por una sucesión de fanerógamas halófilas, vegetales tolerantes a altos contenidos de sal en las aguas y con la posibilidad de reproducirse en ellos (Cooper, 1974, Fig. 16)). Se puede reconocer en base a su tiempo de exposición, su sedimentología y contenido florístico una marisma alta y una baja. Según tiempo de exposición, la marisma alta más vieja y estabilizada, no tiene más de 4 ó 5 inundaciones por año y la baja está sujeta a 3 ó 4 inundaciones por mes, en relación a la marea y las tormentas; según su granulometría, la marisma alta posee sedimentos más gruesos que la baja, y según el contenido florístico, la marisma alta está vegetada por más del 50 % de *Salicornia sp.*, gramíneas y a veces con concentraciones de diatomeas, en tanto que la marisma baja está vegetada por más del 50 % de *Spartina sp.*

El límite entre la marisma y el ambiente inmediato superior, la pradera de gramíneas de agua dulce, coincide aproximadamente con la cota de 1,8 metros sobre el nivel del mar (según IGN), resultando en la bahía una marisma de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>.

Las marismas acumulan sedimentos finos disponibles en el sistema, ya que las corrientes son poco violentas y las aguas poco profundas. Los vegetales actúan como trampa de sedimentos finos, los que arrastran abundantes iones intercambiables que fertilizan la zona y aumentan la productividad de las marismas. Los sedimentos finos son transportados por el Río de La Plata, por otros ríos o por los canales artificiales hacia las aguas de la bahía; de allí, son redistribuidos por los agentes marinos y transportados a las marismas por las mareas.

La importancia de las marismas en estos ecosistemas mareales es grande, están relacionadas con la exportación de nutrientes y materia orgánica hacia las aguas costeras que a su vez la aprovechan los peces para alimentación y desove. Las aves la utilizan para nidadas y son áreas de desecho y asimilación de sustancias tóxicas.

Los ambientes supramareales se asientan sobre sedimentos litorales marinos holocenos con las mismas características que las actuales planicies intermareales. Los muestreos indican que son sedimentos pelíticos, más bien arcillosos, de color gris a verde con mucha materia orgánica en descomposición y óxidos de hierro. Esto podría indicar dos hechos: o que el nivel del mar ha descendido, o que existe un fenómeno de progradación de los ambientes supramareales por sobre



Figura 16. Fotografía de los ambientes de marismas.

los intermareales. Esto último, la progradación del ambiente supramareal sobre uno más “marino”, intermareal, puede comprobarse por comparación entre fotografías aéreas antiguas y modernas. Asimismo en perforaciones que se realizaron al Este de la Ruta Provincial N°11, en la zona de praderas de gramíneas de agua dulce, se reconoce esa progradación, donde se ve de la base al techo, una secuencia de sedimentos pertenecientes a los ambientes submareales, intermareales y de marisma (CFI, 1990).

#### **2.2.1.2 Barrera arenosa oriental**

El ambiente geomorfológico que va desde Punta Rasa hasta Mar Chiquita, representa una barrera arenosa relativamente joven también denominada “Barrera Medanosa Oriental” (Figs. 17 y 18). Esta barrera se ha desarrollado con posterioridad a la fluctuación holocena del nivel del mar (Violante y Parker 1992), y posee médanos que no tienen más de 1400 años de antigüedad.

Geomorfológicamente es una planicie costera, caracterizada por su relieve extremadamente llano y bajo. La barrera medianosa se extiende desde Punta Rasa hasta Mar Chiquita con un ancho que oscila entre los 2 y 4 km. Este cordón costero está dividido en tres unidades geomórficas, el médano, la playa y el submareal.

Un perfil típico de costa arenosa puede observarse en la Fig. 19. Los ambientes litorales que componen el sistema duna-playa muestran distintos tipos de desarrollo según los procesos dominantes y el grado de intervención humana (Fig. 20).



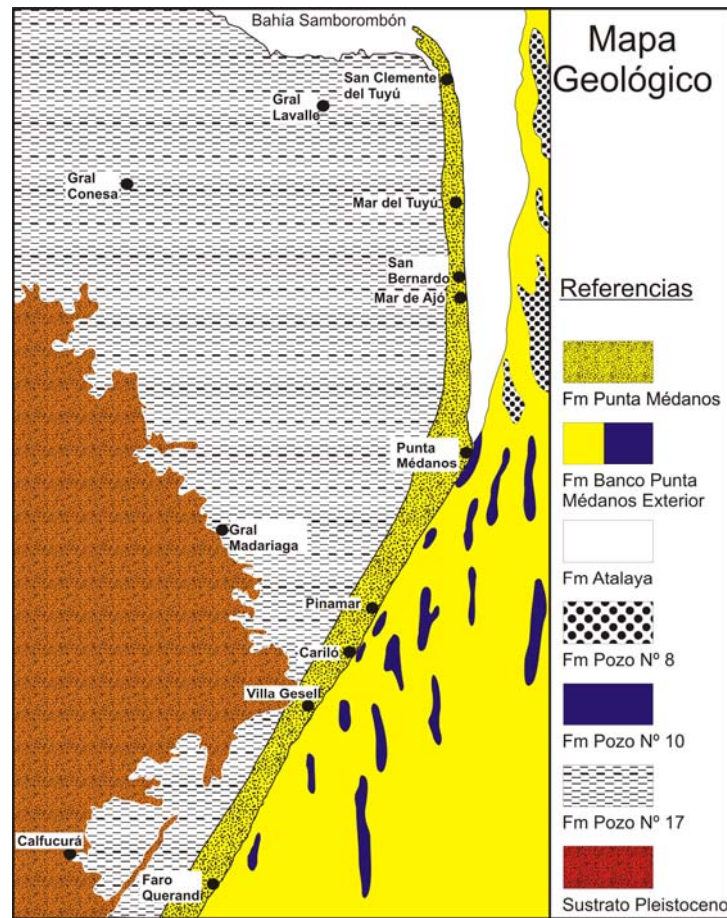


Figura 17. Mapa geológico de la barrera arenosa oriental (basado en Parker et al., 1989).



Fig. 18. Exposición de las sucesivas espigas en el extremo N de la Barrera Medanosa Oriental.

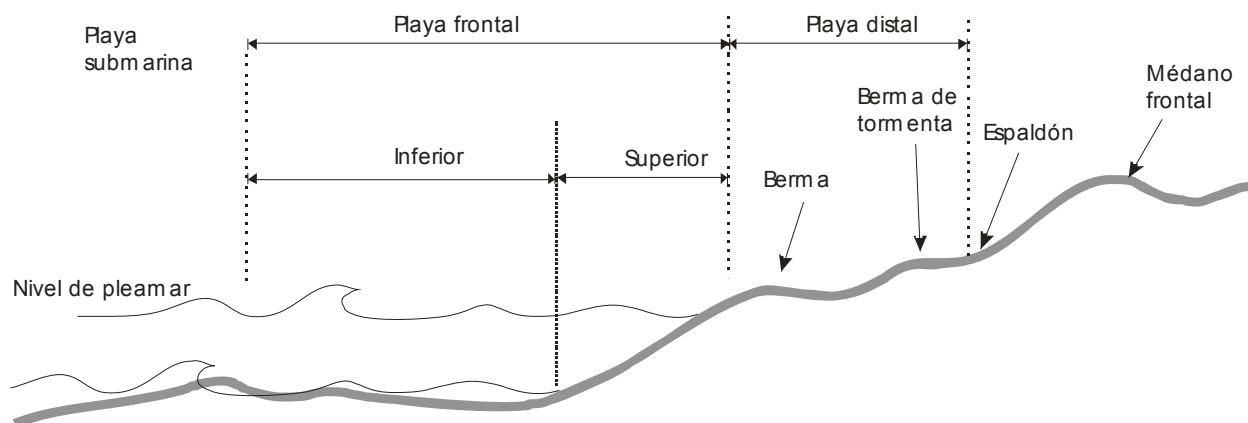


Figura 19. Perfil ideal de una playa asociada a costas bajas.

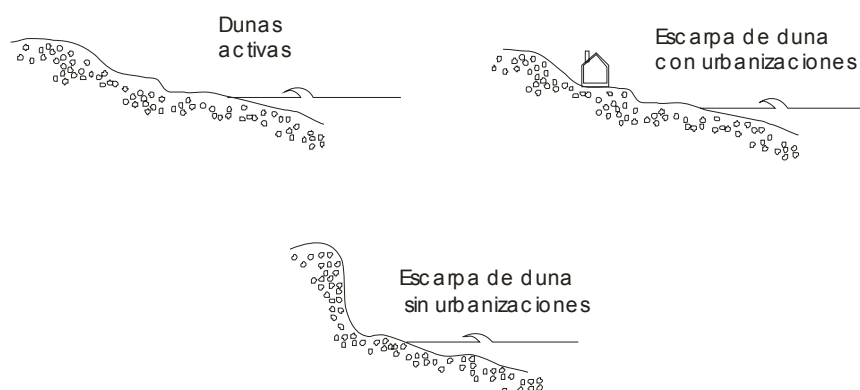


Figura 20. Diferentes situaciones en costas bajas (Isla et al., 1996).

En la Barrera Arenosa Oriental se destacan dos rasgos depositacionales:

- Los médanos del área en cuestión, poseen alturas que superan los 30 m. Los que aún quedan son médanos parabólicos a piramidales (Spalletti y Mazzoni, 1979), aunque también se reconocen médanos transversales, barjanes y en estrella (Isla et al., 1996). Análisis de transporte de arena por el viento arroja, para el área de Punta Médanos, valores que superan los 150.000 m<sup>3</sup>/año principalmente en dirección norte, de los que un 35 % (más de 50.000 m<sup>3</sup>) van al océano (Bértola et al., 2002 y Bértola 2006).

- La playa es aproximadamente rectilínea con un ancho que oscila entre 50 y 150 m. Presenta pendientes suaves, formadas por arenas finas a medianas. Teruggi (1959) y posteriormente Spalletti y Mazzoni (1979), caracterizaron granulométrica y mineralógicamente estas arenas superficiales de las playas del Este de Buenos Aires, reconociendo variaciones texturales transversales (playa distal, frontal y médano) y a lo largo de la costa. Observaron un mayor diámetro de las arenas hacia los ambientes topográficamente inferiores, en tanto que la

selección aumentaba hacia la playa frontal. Muestreos hechos con posterioridad, reconocen granulometrías más gruesas aún en los sectores submareales. Regionalmente, existía una mejor selección y disminución del diámetro de las arenas de sur a norte. En cuanto a la mineralogía, los cambios regionales eran más importantes, sobre todo en lo referente a minerales pesados (Spalletti y Mazzoni, 1979).

Entre Mar Chiquita y Punta Médanos se extiende, mar adentro y por debajo del océano, un campo de dorsales de arena submareales conformados por arenas finas, con una orientación de 20° a 45° con respecto a la costa, y conectados a ella en su sección septentrional. La distancia entre crestas no supera los 4 km con alturas de 5 a 7 m; poseen longitudes de 9 a 30 km y los surcos son de 2 a 2,5 km de anchura (Parker y Violante, 1989; Scalise et al., 2007; Aliotta et al., 2007; Schnack et al., 2007-a). Estas dorsales son muy importantes, ya que modifican la dirección de aproximación de las olas a la playa, generando erosión o depositación en distancias próximas entre sí. Esto quiere decir que frente a un episodio de tormenta, un balneario puede ser destruido y no así el inmediato vecino, tal vez separado por 400 metros.

#### **2.2.1.3 Barrera Medanosa Austral**

La Barrera Medanosa Austral se extiende desde Miramar hacia el O hasta las inmediaciones de Punta Alta en una dirección NE-SO. En el primer sector (Miramar-Necochea), se han realizado una serie de perfiles transversales a la costa que involucran playas, acantilados y la combinación de ambas formas.

Los depósitos arenosos de todas las playas, representan una acumulación inestable que, por distintas causas (mareas, tormentas, construcciones sobre el médano, extracción, etc.) puede sufrir modificaciones cíclicas o imprevistas, e inclusive quedar totalmente destruidas.

Hay que considerar que las arenas son de origen marino y continental. En el primer caso, y de mayor volumen, por el desgaste de antiguas playas (hoy sumergidas) y el retrabajamiento de conchillas con las que se mezclan. En el segundo, aportada por la erosión fluvial sobre el sector continental y por la meteorización y erosión de barrancas costeras del sur.

El material arenoso sufre transporte a lo largo de la costa por acción de las corrientes y olas. Un buen ejemplo de ello es la presencia de cantos rodados que se hallan a lo largo de todo el litoral. En su mayor parte, son de rocas volcánicas (pórfidos, riolitas, basaltos y andesitas) extrañas a la provincia de Buenos Aires, por lo que su aparición en las playas bonaerenses se explica por su transporte desde el ambiente patagónico, facilitada a veces por la acción de algas marinas. Hay también rodados de tosca de origen más local (erosión de las barrancas de los partidos de General Pueyrredón y Mar Chiquita).

Pero aparte de la acción acumulativa, existe en las playas otra contraria (erosión) que conduce a la pérdida de material. La eliminación de parte de la arena, cuando es natural, se

efectúa por olas y corrientes que la llevan a zonas más profundas, atricción (o desgaste) que origina partículas diminutas, más fácilmente transportables mar adentro, y deflación eólica, que hace que parte de la arena retorne al continente o sea arrastrada hacia el mar.

Un viento que sople del mar hacia la tierra a una velocidad de unos 5 m/seg transportará partículas de arena en esta dirección. Cualquier obstáculo o resto que aparezca en la parte superior de la playa provocará una disminución de la velocidad del viento, depositándose parte de la arena. Se forman así pequeños montículos a los que se denomina dunas embrionarias. Una vez que éstos rebasan el nivel de la mayoría de las mareas altas, son poblados por vegetación. Ésta, permite la fijación de los sedimentos, de manera que las dunas embrionarias pueden desarrollarse rápidamente. Al unirse entre sí, forman una estrecha cadena en la parte superior de la playa. A medida que aumenta la acreción, aparecen nuevos vegetales que, a su vez, favorecen la deposición de nuevos sedimentos hasta que el montículo de la duna queda en paralelo a la línea de costa. Cuando la línea costera se va adentrando en el mar como consecuencia de la acreción, pueden originarse varias alineaciones de dunas. Las depresiones que quedan entre ellas, son entornos completamente húmedos en los que a menudo subsisten una amplia variedad de especies.

Si la capa de vegetación que cubre el montículo de la duna es eliminada naturalmente o adrede, el movimiento de arena puede reactivarse y es posible que se forme un gran hoyo o caldera de deflación. Si este proceso se extiende, tendremos una erosión del médano y mucha arena voladora que se depositará en las calles del ejido urbano, obstruyendo los pluviales y aceras.

De este modo, la interrelación entre la acción acumulativa y la destructiva determina que el depósito de playa se halle en el equilibrio inestable nombrado, y que pueda ser fácilmente perturbado.

Por ello, toda obra de ingeniería cercana a la costa (edificios, balnearios, muelles, espigones) debe ser cuidadosamente estudiada antes de su construcción, pues puede perturbar el citado equilibrio natural. Muy conocido es el efecto nocivo que han ejercido los espigones de los puertos de Quequén y Mar del Plata, que han empobrecido de arena a las playas situadas inmediatamente más allá de su lugar de emplazamiento. Del mismo modo, no deben fijarse los médanos sin tomar las debidas precauciones, pues cada cadena fijada se convierte en un obstáculo a cuyo pie se acumulan nuevos médanos, con la consiguiente disminución del ancho de la playa. Muchas veces este nuevo médano que debería formarse no lo puede hacer, ya que la pleamar llega hasta las construcciones impidiendo la formación de los nuevos médanos y alisando y erosionando fuertemente las playas (Bértola, 2006).

A nivel regional, y analizando las barreras medanosas bonaerenses (Fig. 20) puede observarse el siguiente patrón de comportamiento de los médanos costeros (Isla *et al.*, 1996): en la

Barrera Oriental y Austral hay predominio de médanos vivos (activos) y vegetados. Extensos médanos forestados están en su mayoría sobre la Barrera Oriental. Las diferencias apreciables comienzan a observarse en la zona de transición entre ambas barreras. En la zona de Villa Gesell, Pinamar y ciudades cercanas a Santa Teresita hay presencia de médanos subalimentados y en Mar Chiquita, debido principalmente a la fuerte erosión de sus costas, los médanos poseen importantes escarpas de hasta 1 m de altura. Al sur de Mar Chiquita y hasta Necochea la existencia de acantilados sobre ortocuarcitas y/o sobre loess posibilita la formación de médanos colgados o, en algunos lugares, la ausencia total de los mismos. En este caso pueden aparecer pequeñas rampas de médano de hasta 15 m de ancho y plataformas de abrasión debido al bajo aporte de sedimentos. Más al sur y hasta Necochea, los acantilados pueden quedar cubiertos total o parcialmente por médanos colgados. De este modo, la disponibilidad de arena juega un papel fundamental en el crecimiento de las barreras. Esta disponibilidad puede alterarse por modificaciones en el nivel del mar o inclusive artificialmente como en el caso de ciudades donde se realizaron importantes forestaciones alterándose las distribuciones de arena por disminución de la dinámica eólica y originando médanos que emplean menos cantidad de arena, por ejemplo transversales a parabólicos (Isla et al., 2005). En ambas barreras se ha podido constatar, sobre todo en zonas con intensa antropización, formas erosivas de cubetas de deflación. Es decir, en médanos con cobertura vegetal principalmente arbustiva, la eliminación de la misma por fuertes lluvias, tormentas de viento, el tránsito pedestre o de vehículos, favorece este tipo de erosión, que tiende a perpetuarse y migrar hacia sotavento de los vientos predominantes, ya que los flujos de viento que se producen se encauzan siguiendo su fisonomía e impiden la fijación de vegetación.

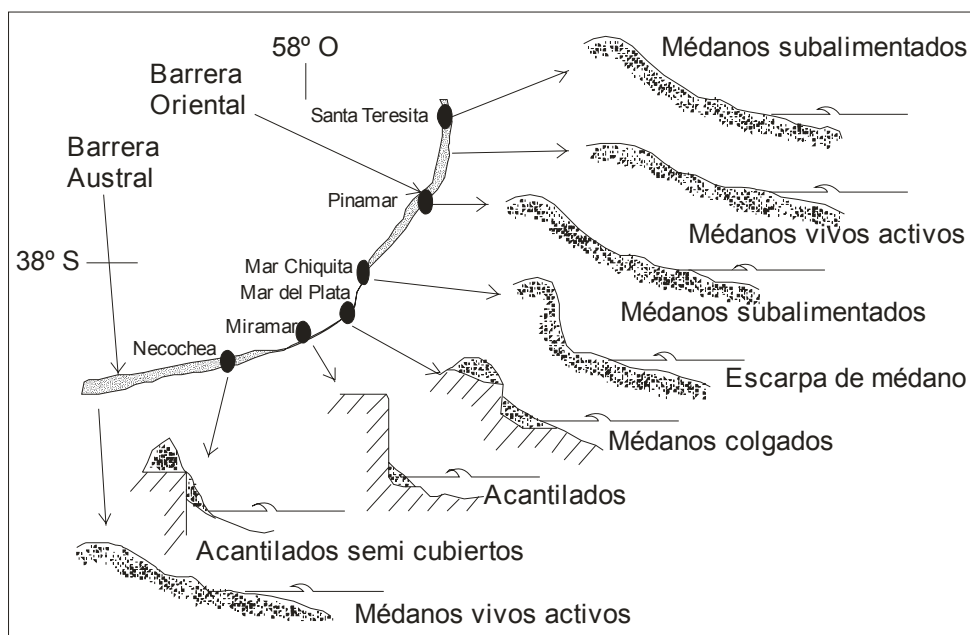


Figura 21. Relación playa-médanos costeros (Isla et al., 1996).

### 2.2.2 Costas altas

Están representadas por aquellos sectores donde el contacto del mar con el continente se manifiesta a través de un acantilado marino (Figs. 22 a 24).

Las primeras representaciones de este tipo de costa se producen desde el norte hasta el sur de la ciudad de Mar del Plata donde la línea de costa intercepta los afloramientos de las ortocuarcitas paleozoicas del sistema de Tandilia, representando las rocas más antiguas del litoral bonaerense y los limos loessoides (con tosca) de los Sedimentos Pampeanos.



Figura 22. Acantilado vertical al sur de Punta Mogotes.

Hacia el suroeste, en las inmediaciones de Necochea y Monte Hermoso pueden observarse acantilados activos de menor magnitud que los anteriores desarrollados también en los Sedimentos Pampeanos.

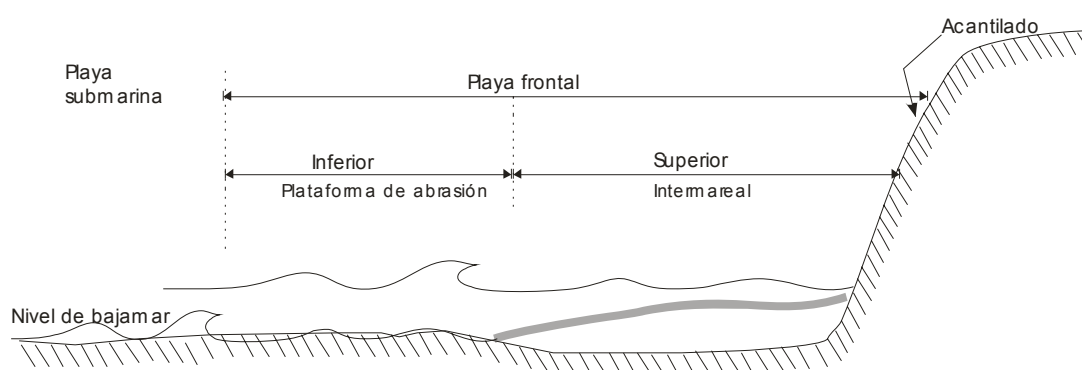


Figura 23. Perfil ideal de una playa asociada a costas altas (en muchos casos puede haber ausencia de berma o playa distal).

Existen diferentes situaciones morfológicas asociadas a los acantilados, abarcando casos con presencia de playa, o el desarrollo de una plataforma de abrasión ("restinga"), hasta un acantilado actualmente inactivo y cubierto parcialmente por depósitos medanosos (Fig. 23).



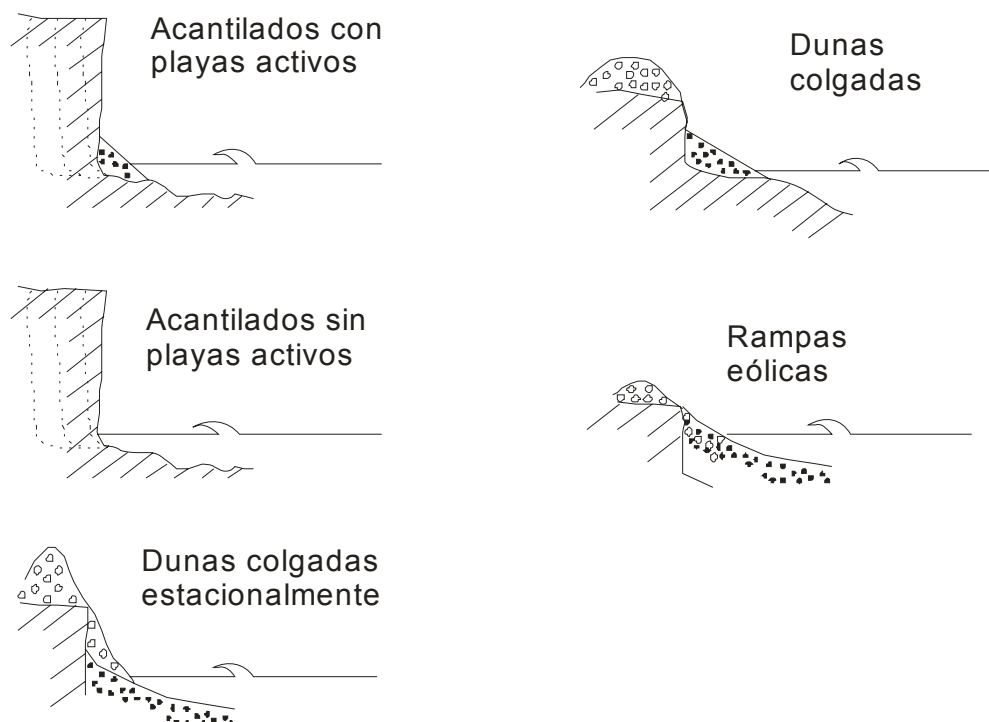


Figura 24. Diferentes situaciones de costas altas (Isla et al., 1996).

Los procesos geológicos que llevan a la formación y retroceso de los acantilados están caracterizados principalmente por la acción mecánica de las olas (abrasión y acción hidráulica), de remoción en masa (puntuales y esporádicos) y meteorización. Otros procesos de menor importancia general pero que pueden tener alto impacto local son la erosión por escorrentía en la parte superior durante tormentas y por desagües pluviales abiertos.

Se entiende por procesos gravitacionales o de remoción en masa a aquellas movilizaciones de materiales desde las partes altas a las partes bajas, por la acción exclusiva de la gravedad. Si bien la acción gravitatoria constituye la fuerza por la que estos materiales se desplazan, la participación de la meteorización y otros procesos (p.ej. flujos de agua), pueden ser los responsables en la desestabilización de los materiales, propiciando su desequilibrio y desplazamiento.

La erosión mecánica por olas constituye el principal factor erosivo del acantilado y sus evidencias son abundantes en todo el frente costero. Si bien el trabajo geológico que produce el oleaje (atracción y abrasión) en su acción diaria en la zona de rompiente puede producir importantes cambios, las olas generadas en una tormenta pueden ocasionar cambios más importantes que los producidos por las olas en términos de meses.

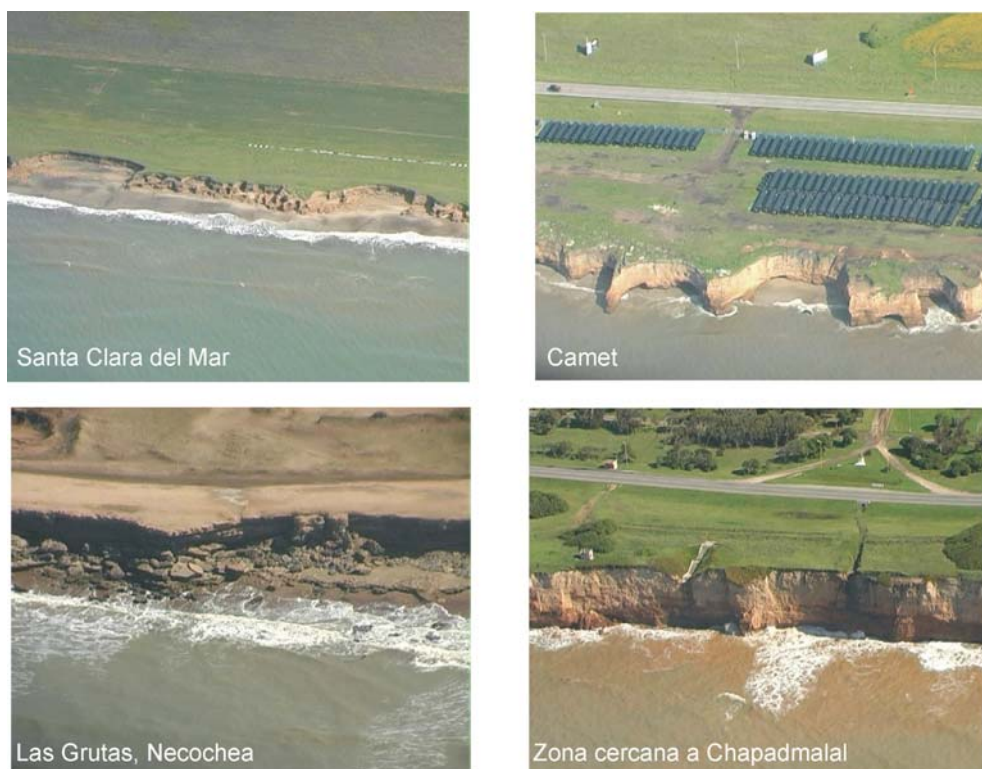


Figura 25. Diferentes sectores con acantilados.

Una típica costa de acantilados se desarrolla desde la zona de Camet Norte hasta las inmediaciones de Miramar (Fig. 25). Su composición responde fundamentalmente a los limos loessoides de la Fm Pampeano en sentido amplio y en menor cantidad a las ortocuarcitas de la Fm Balcarce. Es común observar en esta zona el desarrollo de playas de bolsillo más o menos amplias, naturales o artificiales con diferentes grados de degradación. También es de considerar que constituye la zona donde se han construido la mayor cantidad de obras duras, cambiando éstas significativamente la dinámica costera. Al sur de Miramar y hasta Necochea, alternan zonas de acantilados con dunas (Fig. 24) y áreas bajas, medanosas.



### **2.3. VARIABILIDAD COSTERA: EROSIÓN Y ACUMULACIÓN**

El litoral bonaerense está sujeto a problemas de inundación y erosión. Estos procesos están relacionados con la acción de las olas, las tormentas y el aumento del nivel del mar, entre otros forzantes naturales, y se encuentran exacerbados por la intervención humana. Existen en el área de estudio zonas de alta vulnerabilidad que requieren la aplicación de estrategias predictivas, correctivas y adaptativas (Schnack, 1993; Schnack y Piola, 2009; Isla y Schnack, 2009). Los escenarios globales guardan correspondencia general con esta situación regional

Diversos sectores de la costa atlántica bonaerense sufren un severo proceso erosivo que se manifiesta en un retroceso de la línea de costa y en la disminución de las acumulaciones de las playas. Estos efectos son recurrentes, en particular en áreas de importancia turística sujetas a una fuerte intervención humana, y requieren respuestas correctivas de efecto inmediato, así como bases sólidas para el manejo en el mediano y largo plazo (Isla, 2002; Schnack et al., 1998, 2001).



Figura 26. Efectos de ondas de tormenta: Mar del Tuyú, Partido de la Costa.

En el Partido de la Costa (Santa Teresita y Mar del Tuyú) se han estudiado casos de erosión severa con significativa destrucción de las dunas costeras por la urbanización y actividades extractivas. López (1996) menciona importantes pérdidas de arena en el Partido de la Costa durante las sudestadas que se manifestaron en distintas estaciones del año desde 1989 hasta 1993, y las atribuye a la contribución de la actividad humana. Schnack y O'Neill (2001), mediante el análisis comparativo de fotografías aéreas verticales entre 1957 y 1985 determinaron retrocesos del orden de 1 m/año en diferentes localidades del Partido de la Costa, en particular en las localidades más urbanizadas. En Mar del Tuyú, la onda de tormenta de febrero de 1993 causó modificaciones severas en el perfil de la playa con variaciones verticales hasta 1,40 m, de acuerdo a mediciones realizadas por la Dirección de Hidráulica, y la destrucción de propiedades (Fig. 26). El 30 de diciembre de 2003 una fuerte sudestada afectó severamente un importante sector del

frente costero de Villa Gesell. Hacia fines de agosto de 2005 un fenómeno similar causó erosión en localidades del Partido de la Costa.

El primer estudio sistemático de variaciones de playas en la Argentina fue realizado por Cortelezzi et al. (1973). Este trabajo analizó perfiles promedio anuales sobre la base de relevamientos mensuales realizados durante los años 60 en playas de San Clemente del Tuyú, Mar Chiquita, Mar del Plata y Miramar. Los dos perfiles relevados en la playa de Mar Chiquita resultaron en un retroceso de 60 m y 35 m en el lapso de seis años. Este retroceso fue nuevamente mencionado en estudios posteriores (Schnack, 1985), confirmando un retroceso de más de 6 m/año (Fig. 27).



Figura 27. Izquierda: la costa de Mar Chiquita, al sur de la desembocadura de la laguna. Derecha: Retroceso de la línea de costa en el mismo sector, entre 1957 y 1979 (Schnack, 1985). El proceso ha sido atenuado mediante obras de defensa, aunque en los últimos años se han manifestado intensos procesos erosivos.

En la zona de la Ensenada Mogotes, al sur de Mar del Plata, la tormenta del 9 de febrero de 2006 causó severos problemas erosivos (Fig. 28) que acentuaron un proceso que viene ocurriendo desde hace varias décadas.



Figura 28. Costa alta, erosiva, en la zona de Los Acantilados, al sur de Mar del Plata. Nótese el escaso desarrollo de la playa.

Las ondas de tormenta son la causa directa de la erosión en su manifestación más dramática (v. 2.1.2). No sólo producen una elevación del nivel del mar, sino que también se asocian a fuertes vientos, provocando un aumento de la energía del oleaje. Estas ondas, que se desarrollan a lo largo de la costa argentina, son de carácter extratropical, del mismo tipo de las que se producen en la costa atlántica de América del Norte y en el Mar del Norte. En la región del Atlántico sudoccidental se las reconoce como “sudestadas”. Aunque persistentes ondas de alta energía se originan sobre el propio frente costero de la provincia de Buenos Aires, muchas de ellas provienen de la región austral de la plataforma continental argentina y llegan hasta las costas de la provincia de Buenos Aires después de recorrer cientos de kilómetros.

Las tormentas constituyen fenómenos naturales recurrentes que en condiciones prístinas ejercen una acción temporaria sobre el sustrato, es decir, la playa recupera su perfil anterior al episodio. Es común que la alternancia de situaciones de calma y tormenta genere perfiles estacionales típicos de playa, reconocidos como “de calma” y “de tormenta”. Los procesos erosivos se tornan progresivos en las áreas de mayor desarrollo, donde existen construcciones costeras y urbanizaciones, descargas pluviales perpendiculares a la costa, y en particular debido a la extracción de arenas para la industria de la construcción.

Ambientes dominados por procesos acumulativos también son observados a lo largo del litoral bonaerense. Dentro de éstos, los ambientes medanosos constituyen los de mayor desarrollo, observándose en prácticamente todo el litoral bonaerense amplias zonas con médanos en movimiento. Debe destacarse que las zonas estables o que manifiestan acumulación son en general aquéllas con nula o escasa intervención humana (Fig. 23).



Figura 23. Diversos casos de acumulación (playas y médanos). Izquierda: Mar del Sur Derecha: San Clemente del Tuyú.

Durante climas normales, con olas de gran longitud de onda y baja pendiente se produce la movilización de sedimentos desde mar afuera hacia la playa. En estos casos las olas producen agradación, una barra amplia, un perfil suavizado y una pendiente abrupta en la cara de playa, no

distinguiéndose barras a lo largo de la costa. Pero frente a tormentas, asociadas con olas de corta longitud (episodios que se corresponden con la acción de las sudestadas), se incrementa la acción erosiva del oleaje y se producen un importante ascenso en el nivel medio del mar. Las olas de tormenta, transportan la arena hacia mar afuera, provocando erosión de la playa emergida y una barra de arena submareal, que constituye un reservorio de arena natural. Las olas posteriores a la tormenta, movilizan esa barra de arena hacia el continente y finalmente las mismas terminan emergiendo en la cara de playa (Bértola, 2006).

### **3. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **3.1 Evaluación general y análisis preliminares**

El área de trabajo fue evaluada desde el punto de vista geomorfológico a fin de determinar la mayor cantidad situaciones diferentes a se evaluadas. En función de esto, se definieron un conjunto de localidades (sitios tipo) donde se procedió a realizar diferentes determinaciones a fin de acotar de manera precisa el conjunto de determinaciones realizadas.

Esta actividad incluyó aspectos regionales y locales. Para ello, se utilizaron las siguientes herramientas básicas:

- Análisis de antecedentes generales
- Procesamiento de imágenes satelitales TM
- Visitas de campo en las cuales se seleccionaron los estudios de caso y se determinaron los puntos de referencia para la determinación de coordenadas y cotas sobre el nivel del mar, con el objeto de vincular los relevamientos topográficos y, en conjunto con los datos obtenidos en 3.2, proveer una base que pueda ser de uso general.
- Un vuelo de reconocimiento con video para mejorar la visión regional y local de las zonas de estudio y establecer una base para futuros monitoreos aéreos (anexado en el presente informe). Debido a las variables condiciones meteorológicas, los vuelos fueron realizados en distintas oportunidades: 29/03, 01/04 y 05/09 de 2010. En todos los casos se voló durante estados medios de la marea y a una altura de aproximadamente 120 metros.

#### **3.2 Obtención de coordenadas geodésicas y cotas sobre el nivel del mar**

Dentro de los estudios procedió a obtener las coordenadas geodésicas y cotas sobre el nivel del mar de un conjunto de puntos sobre la costa que sirvan de apoyo a los trabajos topográficos desarrollados en el marco de este proyecto. Estos trabajos estuvieron a cargo del Grupo de

Geodesia Satelital de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata. Para un detalle completo de dicho trabajo se remite al lector al ANEXO I.

Para la región específica de este proyecto, costa de la Provincia de Buenos Aires, fue necesario utilizar un modelo geopotencial global:

(EGM08, <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>).

El sistema de posicionamiento GPS permitió obtener coordenadas precisas en un marco de referencia global materializado por algún marco de referencia nacional o provincial.

La precisión del sistema está condicionada por la metodología de medición y procesamiento. Para el caso de requerimientos de precisión centimétrica es necesario utilizar metodología diferencial (o de posicionamiento relativo).

Esta metodología está basada en la medición simultánea con dos o más equipos, uno de los cuales debe estar en un punto de posición conocida en el marco de referencia adoptado.

Se trabajó con 3 equipos GPS geodésicos de doble frecuencia:

2 receptores marca Trimble modelo 4700

1 receptor marca Trimble modelo 4000 SSE

Los equipos se utilizaron en forma simultánea ocupando uno de ellos un punto fijo con coordenadas conocidas, y los restantes, los puntos a relevar. Los puntos fijos, en cada sesión se ubican de forma tal que las distancias entre los receptores fijos y móviles se mantengan siempre por debajo de los 30 km. Estas distancias cortas aseguran la máxima precisión del sistema. Se llevaron las alturas GPS a cotas sobre el nivel medio del mar (Tabla 3).

Tabla 3: coordenadas geodésicas y altura sobre el nivel medio del mar (SNMM) de los puntos relevados.

Identificación	Latitud			Longitud			Altura SNMM m
	°	'	"	°	'	"	
RSAL	-35	44	47,7322	-57	22	50,3575	3,46
CA15	-35	58	23,6141	-57	26	58,8487	6,57
AJ01	-36	44	21,6898	-56	40	23,0080	3,44
ME01	-36	53	57,3832	-56	40	54,7576	5,64
MT01	-36	33	32,2497	-56	41	16,8972	4,32
ST01	-36	32	7,6195	-56	41	19,6955	3,35
TO01	-36	28	20,9266	-56	41	41,0755	3,11
CL01	-36	21	06,6228	-56	43	11,8671	2,24
VG01	-37	15	34,0303	-56	57	59,4305	4,24
MA01	-37	20	35,6351	-57	1	43,7780	4,35
MC01	-37	44	51,9556	-57	25	15,2130	3,83
CA01	-37	49	42,9069	-57	29	33,5519	6,31
AF01	-38	06	7,7147	-57	33	21,6548	5,65
MSS1	-38	21	3,4315	-57	59	47,0371	3,65
MSN1	-38	20	49,3356	-57	59	21,7470	4,83
NE01	-38	36	38,9108	-58	48	19,6914	7,99
CB01	-38	33	45,8148	-58	37	34,6582	4,98
AV01	-38	33	00,5626	-58	33	47,3560	8,16

### **3.3 Relevamiento de campo y procesamiento de datos**

- Vinculación y referenciación de puntos

Las localidades relevadas fueron referenciadas en Google Earth® y se vincularon las Estaciones GPS con puntos de control en el “Informe del Grupo Geodesia Satelital de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata”. A partir de las coordenadas planas proyección Gauss Krüger, Sistema POSGAR 07 (elipsoide WGS84) y de la altura sobre el nivel medio del mar (SNMM) observada y calculada en las mismas Estaciones GPS, se pudo integrar el relevamiento topográfico planialtimétrico.

- Perfiles topográficos

Los perfiles topográficos fueron medidos tomando como referencia de salida a las Estaciones GPS. A partir de ellas pudieron vincularse las localidades relevadas, midiendo no solamente los perfiles mencionados sino una nube de puntos en cada sitio de estudio. Esta información forma parte de una base de datos, a partir de la cual se generó con posterioridad un Modelo Digital de Terreno de cada una de las estaciones relevadas.

El equipo topográfico con el que se efectuó el relevamiento es una Estación Total Leica 403L, que permite mediante una interfaz comunicarse con el software instalado en una PC o Laptop. Los datos fueron procesados con software específico, pudiendo visualizarse una vez editados, en una planilla de cálculo genérica. También el relevamiento fue exportado en formato CAD (Diseño asistido por computadora), para formar parte de la geodatabase que permite posteriormente ser ingresada como parte del Sistema de Información Geográfica (SIG).

- Modelos digitales del terreno

Los Modelos Digitales del Terrenos (MDT), fueron realizados a partir del relevamiento topográfico. Todos los datos fueron ingresados y editados en una planilla de cálculo, quedando registradas tres columnas del tipo XYZ, donde las columnas XY representan las coordenadas planas proyección Gauss Krüger, Sistema POSGAR 07 (elipsoide WGS84) y la columna Z representa la altura SNMM, todas ellas expresadas en metros.

Sobre esta base, se procedió en cada uno de los sitios a determinar las características geomorfológicas del sector a fin de establecer de manera específica la ubicación de la línea de ribera y de esta manera establecer un criterio para cada una de los sitios escogidos.

#### **4. ESTUDIOS DE CASO**

Para los estudio de caso se consideraron distintas situaciones pertinentes a la fijación de los límites, diferenciando el término “línea de ribera” para aquellas zonas en las que predominan las condiciones naturales, mientras que en el caso de zonas muy intervenidas, cabe la utilización de “línea de deslinde”, debido a la presencia de obras que desvirtúan la delimitación basada en rasgos morfológicos (p.ej. El Alfar, Mar del Plata).

Los casos estudiados fueron (v. Fig. 26):

1. Bahía Samborombón ( $35^{\circ}45'03,43''$  y  $57^{\circ}21'51,34''$ )
2. San Clemente del Tuyú, Calle 4, frente a Balneario Almejas ( $36^{\circ}21'06,6228$  y  $56^{\circ}43'11,8671''$ )
3. Las Toninas, Av. Circunvalación ( $36^{\circ}28'20,9266''$  y  $56^{\circ}41'41,0755''$ )
4. Santa Teresita, Av. 32 ( $36^{\circ}32'7,6195''$  y  $56^{\circ}41'19,6955''$ )
5. Mar del Tuyú, Calle 58 ( $36^{\circ}33'32,2497''$  y  $56^{\circ}41'16,8972''$ )
6. Mar de Ajó, Calle Torino, frente a Hotel Silvio ( $36^{\circ}44'21,6898''$  y  $56^{\circ}40'23,0080''$ )
7. Punta Médanos, playón ( $36^{\circ}53'57,3832''$  y  $56^{\circ}40'54,7576''$ )
8. Villa Gesell, Calle 105 y costa ( $37^{\circ}15'34,0303''$  y  $56^{\circ}57'59,4305''$ )
9. Mar Azul, Calle 37, frente a Balneario Mar Azul ( $37^{\circ}20'35,6351''$  y  $57^{\circ}01'43,7780''$ )
10. Mar Chiquita, Avenida San Martín ( $37^{\circ}44'51,9556''$  y  $57^{\circ}25'15,2130''$ )
11. Camet Norte, Calle Victorino de La Plaza ( $37^{\circ}49'42,9069''$  y  $57^{\circ}29'33,5519''$ )
12. Barrio Alfar, Balneario El Pinar ( $38^{\circ}06'7,7147''$  y  $57^{\circ}33'21,6548''$ )
13. Mar del Sur –Norte-, Calle 98, frente al Balneario Cocoloco ( $38^{\circ}20'49,3356''$  y  $57^{\circ}59'21,7470''$ )
14. Mar del Sur –Sur-, Calle 11 y 86 ( $38^{\circ}21'3,4315''$  y  $57^{\circ}59'47,0371''$ )
15. Arenas Verdes, Virgen ( $38^{\circ}33'00,5626''$  y  $58^{\circ}33'47,3560''$ )
16. Costa Bonita, junto a balneario ( $38^{\circ}33'45,8148''$  y  $58^{\circ}37'34,6582''$ )
17. Necochea, Las Grutas ( $38^{\circ}36'38,9108''$  y  $58^{\circ}48'19,6914''$ )

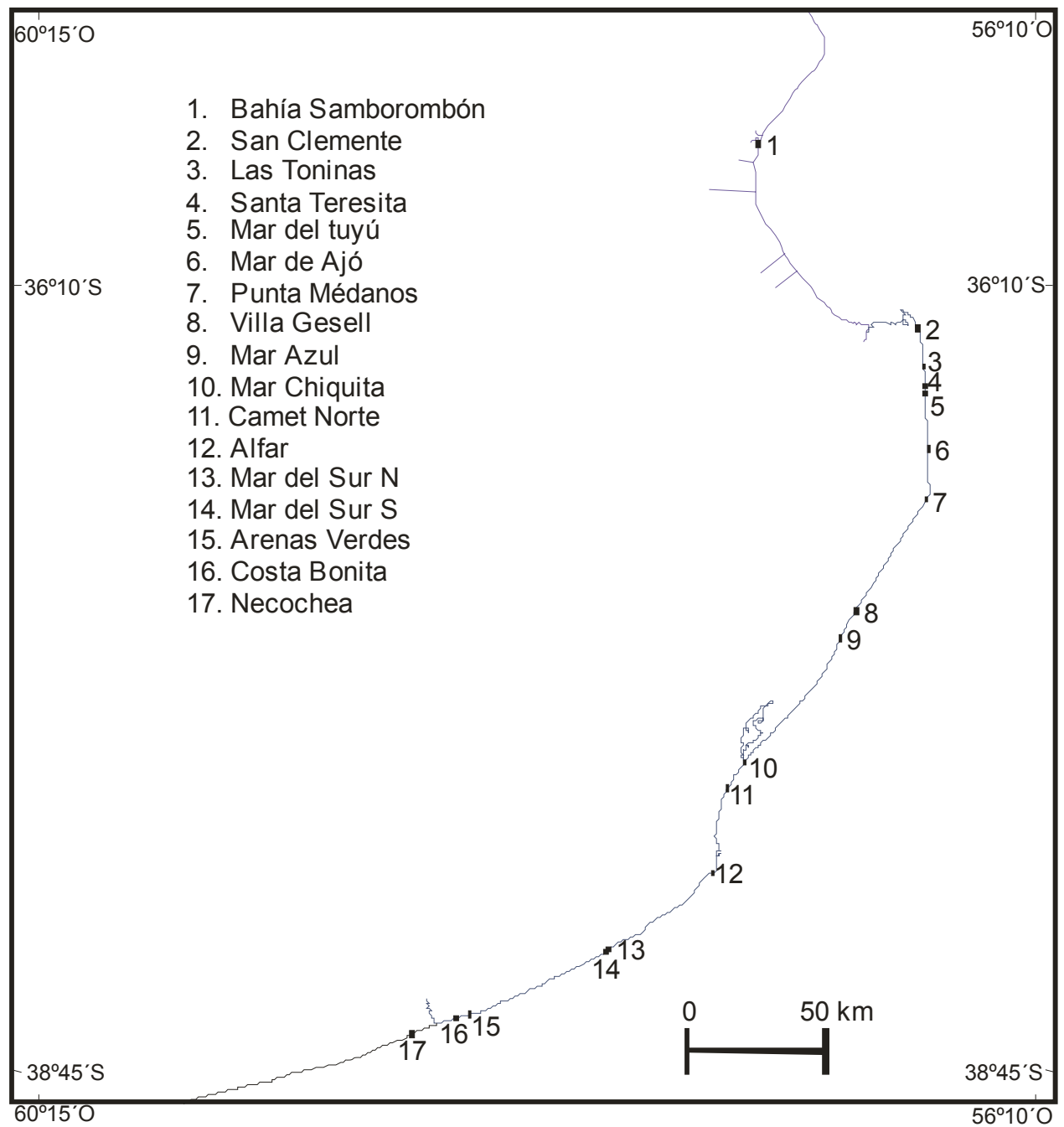


Figura 26. Ubicación de los casos estudiados.



#### **4.1 Bahía Samborombón**

La Bahía Samborombón está emplazada al Este de la Pampa Deprimida (Frenguelli, 1950; Tricart, 1968) y coincide con la llamada cuenca del Salado, limitando al Norte con el Horst del Plata y el Bloque de Monte Veloz (Gianibelli et al., 1989) y al Sur, con el sistema de Tandilia. Posee más de 150 km de ancho y 700 km de largo.

Es una amplia bahía abierta hacia el Este de la Provincia de Buenos Aires en el Río de La Plata Exterior, entre los 35°26'32" y 36°20'04"S y 56°46'56" y 57°23'30"W. Su costa, de casi 144 km, está representada en un 95 % por planicies mareales y marismas, y el resto por costas arenosas o entoscadas.

La génesis de la costa de la Bahía Samborombón se relaciona con las variaciones del nivel del mar durante el Cuaternario. Los ambientes que en ella aparecen (marismas, planicies y canales mareales), están asociados a condiciones físicas específicas y se encuentran muy influenciados a pequeñas variaciones ambientales. Su desarrollo y evolución está vinculado a la dinámica oceánica, a la progradación y a la actividad de comunidades biológicas.

Las condiciones imperantes en ella son muy especiales, por su dinámica (micromareal), geomorfología (bahía muy abierta al mar) y biología (extensa zona de marismas de 400 km<sup>2</sup>). La escasa profundidad y su gran extensión areal, acompañada de un reducido rango de mareas, crea las condiciones para que el viento y las olas modifiquen la distribución de sedimentos y las formas de fondo (Guerrero et al., 1989).

Según Urien y Ottmann (1971), en los últimos 3.000 años el nivel habría descendido hasta la posición actual, quedando grandes planicies que son rápidamente cubiertas por cordones de playa, dunas costeras y marismas. Esto indicaría una progradación en la zona de General Lavalle, de casi 60 km en los últimos 6.000 años.

El sector intermareal bajo está completamente libre de vegetación. Se ubica en los niveles más bajos de la planicie mareal, hasta el nivel de bajamares de sicigia, olas y corrientes de marea con velocidades de corrientes de hasta 70 cm/s, son las que causan el transporte de sedimentos. El submareal sin vegetación, ubicado por debajo del nombrado nivel y hasta los 10 metros de profundidad. La acción de las corrientes de marea son sumamente importantes, con velocidades que alcanzan hasta 2 m/s. Para una descripción más detallada de este ambiente, ver sección 2.2.1.1.

El relevamiento se realizó atravesando los diferentes ambientes de marisma, llanura de mareas y canales. En la figura 27 puede observarse el grupo de trabajo en la marisma.



Figura 27. Fotografía de la marisma.

### **Posición de la línea de ribera**

La ubicación precisa de la línea de ribera presenta muchos interrogantes, ya que las exiguas pendientes hacen que una pequeña elevación del agua por encima de la marea normal, produzca la inundación de importantes espacios. El rasgo mejor identificado es la pequeña barranca (0,5-1 m término medio) que de manera zigzagueante recorre todo el borde de la bahía. Por encima de ésta, se observan múltiples marcas de resaca y cambios de vegetación, los que manifiestan claramente los diferentes ámbitos generados durante la evolución de la región y que en la actualidad quedan debajo de las aguas de acuerdo a la intensidad de las tormentas y/o mareas.

Evidentemente, esta barranca no solo representa la posición más estable en el tiempo del límite agua-tierra, sino también el rasgo geomorfológico más evidente, y por ende determinable. Asimismo, debido a la gran cantidad de marcas de resaca por encima de este escalón y a lo crenulado de su disposición, correspondería fijar una línea más o menos recta a una distancia determinada (p.ej. 200 m) del escalón, simplificando la determinación y demarcación de la línea de ribera y también, alejando el dominio privado de las inundaciones normales.

La gran cantidad, variabilidad morfológica y de tamaño de los canales de marea generan otro inconveniente en la precisa demarcación de la línea de ribera del conjunto de la bahía, procurándose en estos casos y sobre el frente costero, el trazado recto de lado a lado del canal para la delimitación general de la línea de ribera y procediéndose en cada uno de ellos a su medición específica, siguiendo los criterios mencionados para el borde de la bahía.

Es preciso mencionar que dado las exiguas pendientes e inclusive las morfologías cóncavas, cualquier aumento por encima de los normales de los niveles del agua, hacen que extensas superficies queden inundadas, e inclusive dado el escaso movimiento superficial del agua, estas

zonas queden por periodos importantes completamente ocupadas por el agua. Esto ha generado el desarrollo de importantes cangrejales a distancias muy importantes de la costa (más de 1 km) desarrollados en una amplia zona pantanosa.



Figura 28. Barranca en el límite de la Bahía Samborombón.

Está claro que a pesar de situarse por atrás de la línea de ribera, deberían estos casos estudiarse particularmente, ya que correspondería establecer normativas específicas dado la importancia del ambiente y los riesgos permanentes de inundación.

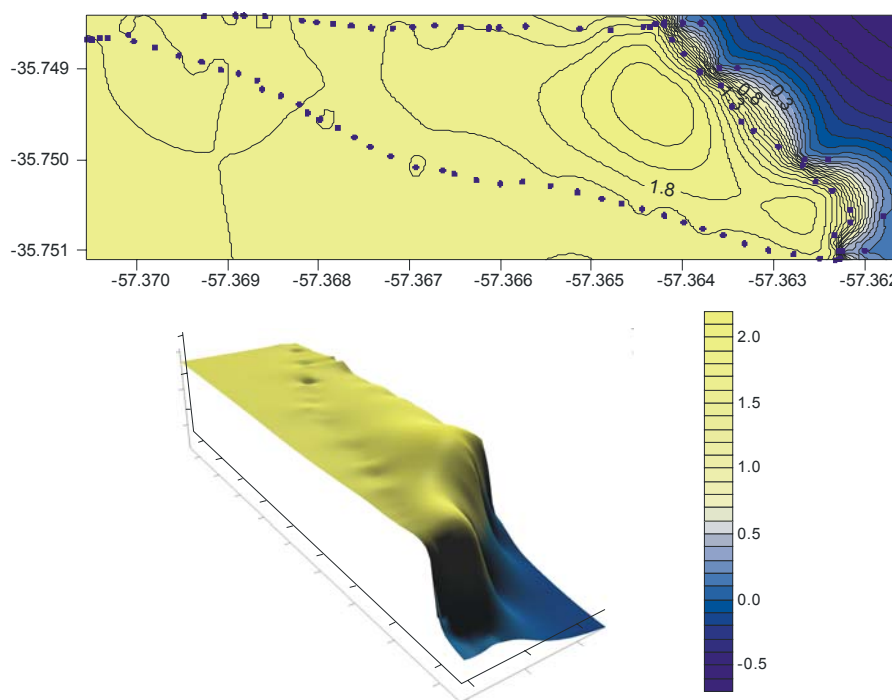


Fig. 28. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

## **4.2 San Clemente del Tuyú**

En Punta Rasa se encuentra la confluencia de dos sistemas ambientales muy contrastante, estuarial hacia el Oeste (Bahía Samborombón) y oceánico hacia el Este (barrera arenosa oriental). Aquí la depositación de sedimentos y distribución de organismos están relacionadas a la interacción mar–bahía.

La denominada Punta Rasa es una espiga cuya génesis y evolución está ligada a la deriva litoral de arena (Sur-Norte), a corrientes costeras, a mareas y a la presencia del Río de La Plata, cuyas interacciones hacen sedimentar arenas y evolucionar la espiga en sucesivas playas, paralelas entre sí y hacia el Noreste. Esta evolución pudo ser confirmado cotejando fotografías aéreas a escala 1:20.000 de los años 1966 y 1985 (Dirección de Geodesia de la Prov. De Buenos Aires).

La zona de Punta Rasa se comporta como un ambiente mixto, donde coexisten depósitos mareales (al Oeste) y de playa arenosa (al Este). La playa arenosa está integrada por un cordón medanoso costero, muy degradado y una playa distal, en tanto que los depósitos mareales, están conformados por la presencia de planicies de marea, canales mareales y marismas, estos últimos ocupando las zonas bajas de antiguos niveles de playa (cordones de playa antiguos).

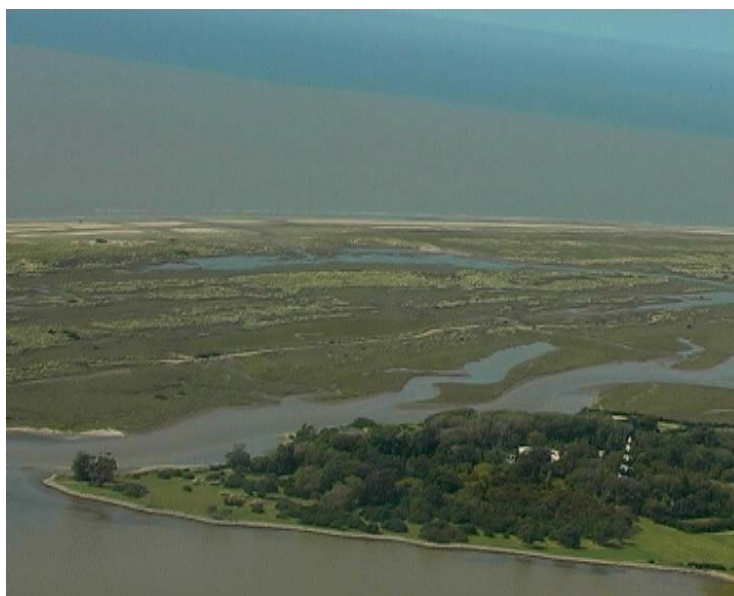


Figura 29. Fotografía aérea oblicua de la zona de estudio.

Las construcciones y caminos que se dirigen desde San Clemente del Tuyú hacia Punta Rasa, el Club de Náutica y Pesca y el Faro San Antonio, están emplazados sobre los cordones de playa antiguos, más altos que la marisma inundable. Los cordones de playa antiguos poseen en general longitudes entre 10 y 15 km, anchos de 70 metros y alturas de hasta 4 metros sobre el nivel del mar, o 1,5 metros por sobre la marisma y canales mareales del entorno. Se orientan

siguiendo un arco de Noroeste a Sudeste y su morfología representa los sucesivos avances de la espiga de Punta Rasa hacia el Noreste. La orientación de los cordones favorece la instalación entre ellos de canales mareales. Para su estudio, se obtuvieron muestras de los distintos cordones en el Perfil Médanos, observándose un alto porcentaje de fracción arena (Bértola et al., 1991).

El sector de estudio fue relevado el 14/03/2010 mediante 2 perfiles, uno a 50 metros al Norte del Balneario Almejas (con una longitud de 187 metros), y el otro a 186 m al norte del anterior, con 143 m. La playa posee médanos de casi 8 m de altura, aunque en los perfiles sólo se registren alturas de hasta 3,2 m sobre el nivel de la playa.

Del total relevado, los médanos ocupan el 19%, la playa distal el 38% y la frontal 43%. La pendiente general varía entre 4,4 y 2,8% y la de la playa frontal es de 2,4 a 1,3%. Presenta una morfología irregular, con 2 o 3 barras (a 75, 120 y 170 m del inicio del perfil) y un canal inundado al momento de realizar el perfil.

Entre los años 2006 y 2007 se realizaron relevamientos coincidentes con estas playas (Scalise et al., 2007). Las apreciaciones realizadas entonces arrojaba los siguientes datos: Ambas mediciones reflejaban un médano y playa distal de similares características en cuanto a topografía y morfología, en tanto que en la playa distal inferior y la frontal se apreciaban los mayores cambios morfológicos. Durante el 2006 hubo depresiones a los 75 m que fueron cubiertos durante la medición del 2007, y en esta última se apreció la presencia de una barra que se adicionó a la playa, a los 140 m del punto estación. La zona de la pleamar aproximadamente está ubicada a 110 m del comienzo del perfil. En las mediciones del 2007 se apreció un incremento de la pendiente por la presencia de la barra adicionada. La pendiente general se mantuvo constante en 2,3%, en tanto que en la playa frontal, aumentó de un 2,25% a un 2,60%. Balances: Durante el período que medió ambos relevamientos, la playa aumentó su volumen en 2732 m<sup>3</sup>.



Figura 30. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.



**Posición de la línea de ribera:** El estudio sistemático de esta localidad permite observar lo dinámico de este ambiente, observándose como va cambiando a lo largo del tiempo. De acuerdo a las características observadas y la amplitud de la playa, podría establecerse la línea de ribera en la cresta de los medanos frontales.



Figura 31. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

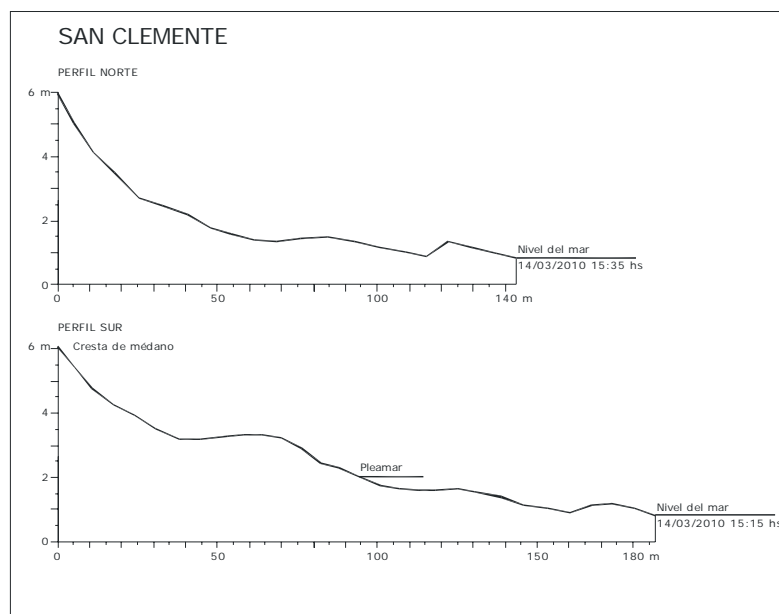


Figura 32. Perfiles topográficos de la playa.

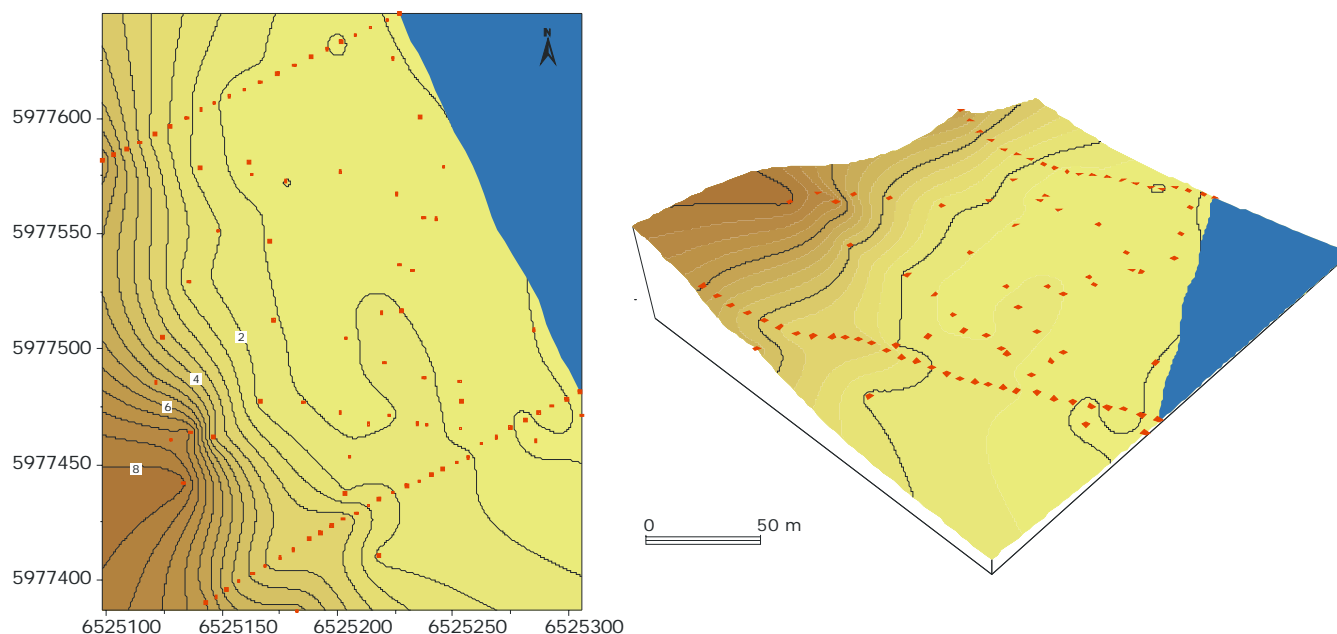


Figura 33. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.3. Las Toninas (Figs. 34 a 37)

Esta playa relevada el 14/03/2010 posee poca extensión, ya que por entonces hubo un sobrenivel de pleamar que duró todo el día. Se confeccionaron dos perfiles, uno de ellos a lo largo de la Avenida Circunvalación (de 35 m de longitud) y el otro a 180 m al Norte del primero, de 31 metros. Al sur de la Avenida Circunvalación, dentro del casco urbano, la playa en ningún caso supera los 45 metros de ancho.

Toda la playa posee un médano de 6 m.s.n.m., aunque en el perfil sólo registre una altura de 2,5 y 1,7 m. La zona de médano se extiende por casi un 19% del perfil, un 9% está ocupado por la playa distal y un 72% por la playa frontal. La pendiente total es de casi el 10% y la de la playa frontal es de 4,11 %. Presenta una morfología muy regular, sin cambios de consideración a lo largo del perfil.

Esta playa también fue analizada durante el 2006 y 2007, cuando se confeccionaron tres perfiles (Scalise et al., 2007). Durante el 2006 el perfil fue de apenas 40 m de longitud, en tanto que durante el 2007 se pudo medir hasta 65 m. Durante el 2006 la playa fue homogénea excepto el perfil norte que poseía una barra a los 25 m. Los perfiles del 2007 tuvieron mayor variabilidad topográfica, con una barra de mayor continuidad longitudinal que la medida durante el primer relevamiento, e inclusive de mayor altura. La pendiente general disminuyó desde el 2006 al 2007 desde un 4,3% a 2,97%, en tanto que en la cara de playa, la pendiente aumentó desde un 3,47% a un 3,51%. Balances: Durante el período que medió ambos relevamientos, la playa aumentó su volumen en 398 m<sup>3</sup>.



Figura 34. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Debido a lo angosta que es la playa en este sector, tanto en el casco urbano como fuera de él, y debido a que en el primero, ya sobre la avenida costanera, se ha desarrollado un microacantilado, y sobre la zona natural, el mar erosiona parcialmente los médanos, consideramos que la **línea de ribera** debe establecerse en el quiebre de pendiente sobre los materiales antrópicos y eólicos (camino costero) en la zona urbana y en la cresta del médano frontal en la zona periurbana.



Figura 35. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.



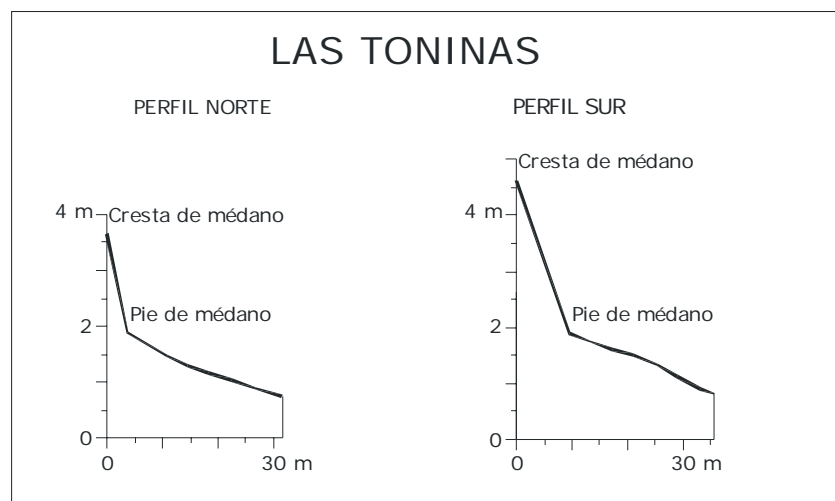


Figura 36. Perfiles topográficos de la playa.

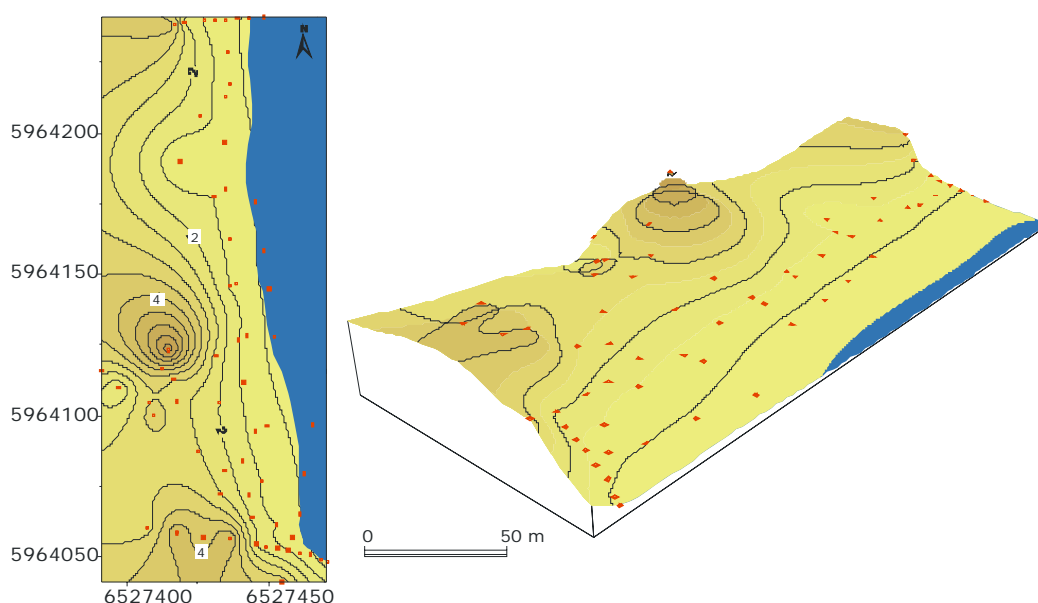


Fig. 37. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.4. Santa Teresita (Figs. 38 a 41)

En esta playa se realizó sólo un perfil por ser arealmente homogénea. El mismo fue relevado el 13/03/2010 y presentó una longitud de 86 metros. Fue realizado a 70 m al Sur de la avenida 32. Posee un médano sumamente degradado de no más de 1 m sobre el nivel de la playa, que ocupa un solo el 10% de la traza del perfil, dejando (sin emplear la zona de la playa frontal, que diariamente se cubre por agua durante las mareas), casi un 42% de playa libre para uso recreativo. La pendiente total fue de 2,3% y la de playa frontal de 1,56%. Presenta una morfología regular, sin rasgos de consideración. Durante los años 2006 y 2007 se realizaron relevamientos en la zona (Scalise et al., 2007). Durante el 2006 el perfil fue de 65 m de longitud, en tanto que durante el 2007 pudo medirse hasta 80 m. Durante el 2007 se observó un perfil más irregular que en la

primera medición, con más arena acumulado en la playa distal y en la playa frontal. En las mediciones del 2006 se apreció una barra de arena a los 50 m, que durante el 2007 se ha trasladado hacia tierra y está a 40 m del punto estación. La línea de pleamar se encontraba aproximadamente a los 30 m del comienzo del perfil. La pendiente general se mantuvo constante en 5,62%, pero la de la playa frontal pasó de 3,30 a 3,03%.

Balances: Durante el período que medió entre ambos relevamientos, la playa aumentó su volumen en 2176 m<sup>3</sup>.

**Posición de la línea de ribera:** Debido a la regularidad de la playa y a su escasa anchura, la posición de la línea de ribera la estableceremos en la cresta de los médanos frontales.



Figura 38. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

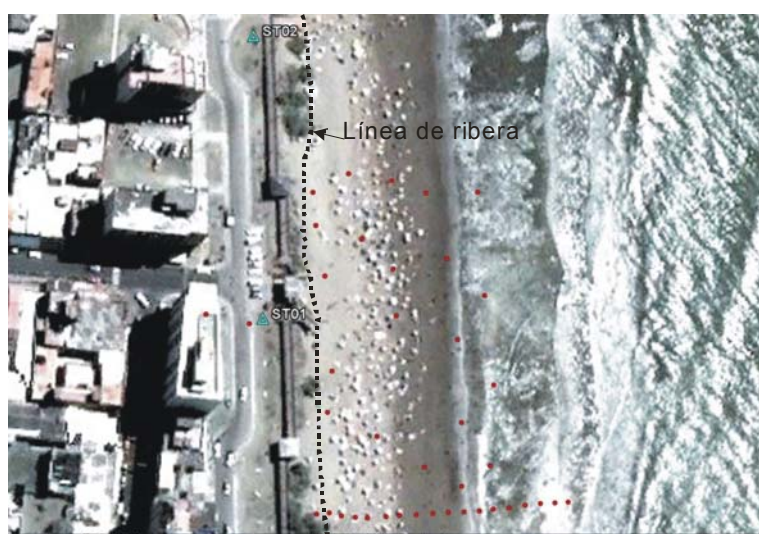


Figura 39. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

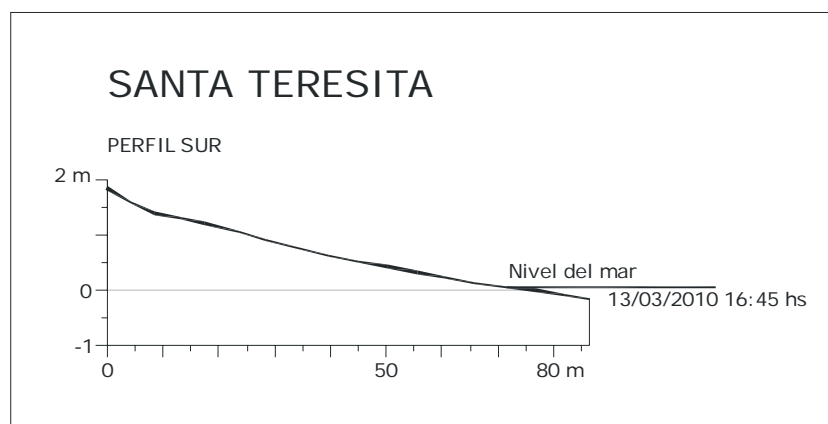


Figura 40. Perfil topográfico de la playa.

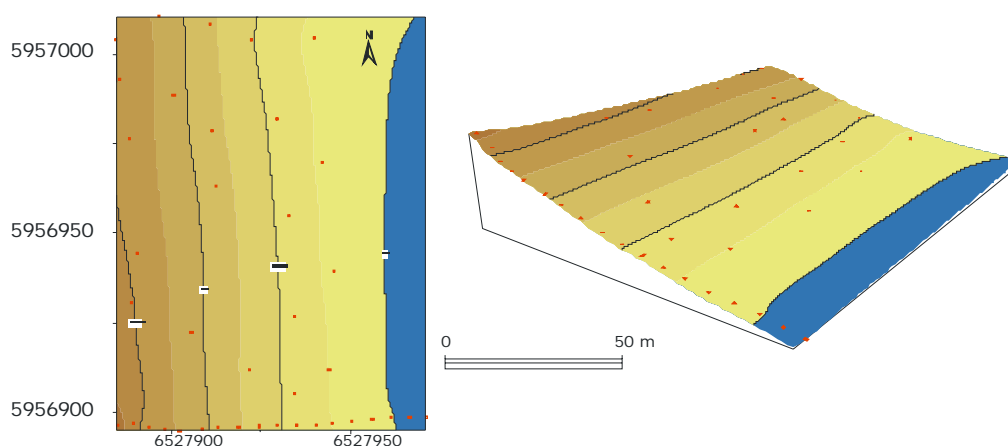


Fig. 41. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.5. Mar del Tuyú (Figs. 42 a 45)

Esta playa fue relevada el 13/03/2010 y el 19/03/2010. Ambos días se realizaron dos perfiles, el Norte a 163 m al norte de la Avenida 58 y el Sur, 78 m al sur de la nombrada avenida. En todo el casco urbano, el médano está muy degradado o es inexistente. Para el 13/03/2010 la longitud de los perfiles fue de casi 86 m y el 19/03/2010, fue de 103 m. Todo el perfil está dividido en la playa distal y la frontal, que puede llegar a cubrir un 78% de la playa, por lo que la playa libre para uso recreativo, a veces llega a ser apenas un 20% de toda la playa. Durante el 13/05/2010, la pendiente total fue de 2,18% y la de la playa frontal de 2,04%. Para el 19/03/2010, la pendiente general aumentó a 2,35% y la frontal se mantuvo igual. Presenta una morfología regular, sin cambios a lo largo del perfil.

Aquí también se realizaron perfiles durante 2006 y 2007 (Scalise et al., 2007). Durante el 2006 se pudo relevar más de 65 m de longitud de perfiles, pero durante el 2007 sólo pudo medirse hasta los 40 m. En el 2006 se apreció una depresión en la playa distal, para elevarse nuevamente

en la frontal. En las mediciones del 2007 esa depresión se había cubierto por arena, generando un perfil homogéneo con pocos cambios altimétricos, por lo que se apreciaba una ganancia neta de arena en los tres perfiles. En el 2006 había una barra de arena en el submareal que se agrandó desde el perfil Sur al Norte, barra que posiblemente sea la causante de la recuperación del perfil para el 2007, una vez adicionada a la playa distal. La pendiente general disminuyó desde el 2006 al 2007 de un 3,01% a 2,73%. Lo mismo ocurrió en la playa frontal, que pasó de 4,32% a 2,97%.

Balances: Durante este período, la playa aumentó su volumen en 5773 m<sup>3</sup>.



Figura 42. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Debido a la regularidad de la playa y al escaso desarrollo, la posición de la línea de ribera, al igual que en el caso anterior, lo estableceremos en la cresta de los médanos frontales (Figs. 42 y 43).



Figura 43. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

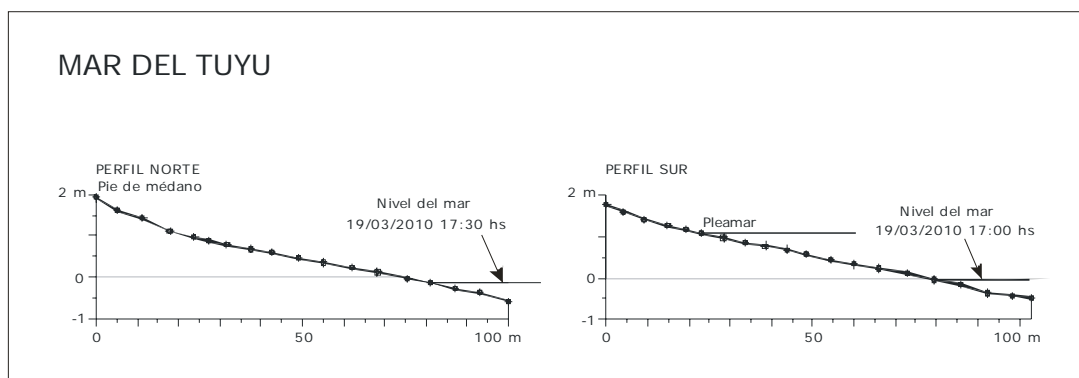


Figura 44. Perfiles topográficos de la playa.

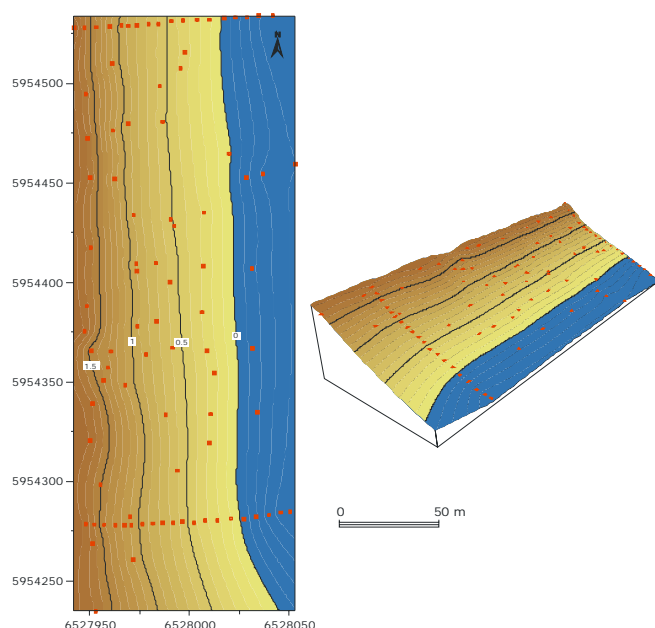


Fig. 45. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.6 Mar de Ajó (Figs. 46 a 49)

Esta playa fue relevada el 13/03/2010 y el 19/03/2010. Para el día 13 se confeccionaron tres perfiles, el Sur (de 87 m) alineado a la Calle Torino, el Central (de 96 m) a 116 m del anterior, y el Norte (de 112 m) a 179 m del anterior. Para el día 19 se realizaron sólo dos perfiles coincidentes con el Sur (de 82 m) y el Norte (de 107 m).

Los perfiles Central y Norte están dentro del Camping Municipal “General Lavalle” de Mar de Ajó, por lo que son de mayor extensión y sus médanos son de más de 6 m.s.n.m., en comparación con los del casco urbano que sólo llegan a los 3 m y están muy degradados.

La pendiente total es de 4,73% para el día 13 y 3,79% para el día 19. La pendiente de la playa frontal del día 13 fue de 2,88% y de 2,28% para el día 19.



La playa distal empleada para uso recreativo, ocupa un 30 a 40% del perfil. Del resto, casi un 50% pertenece a la playa frontal.

En general presenta una morfología regular, aunque el perfil central del día 13/05/2010 presentó una barra a los 40 m del inicio del perfil, que no se evidenció el día 19.



Figura 46. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

Esta playa también fue evaluada durante 2006 y 2007 (Scalise *et al.*, 2007). El perfil realizado en el 2006 midió más de 90 m de longitud, en tanto que el de 2007 apenas superó los 30 m. En esta playa, y sobre todo en la zona urbana, la pleamar llega hasta el pie del médano, por lo que los relieves son muy homogéneos.

Durante el año 2007 se apreció una pérdida de arena en la playa distal por lo que la pendiente se incrementó, aunque por su corta longitud, no se pudo analizar si la arena faltante se encontraba en una barra sumergida. La pendiente general pasó de un 4,4% a un 8,62% en el 2007. En la playa frontal la pendiente también se incrementó pasando de un 2,2% a un 4,13%.

Balances: Durante el período que medió entre ambos relevamientos, la playa disminuyó su volumen en  $-552 \text{ m}^3$ .

**Posición de la línea de ribera:** Debido a la regularidad de la playa y al escaso ancho, la posición de la línea de ribera, al igual que en el caso anterior, la estableceremos en la parte superior del primer cuerpo medanoso, cuando este se encuentra, ya que las pleamares llegan hasta el pie del

médano. En los casos que éste ha sido degradado y en su lugar se encuentran construcciones, la línea de ribera se continua en la traza que une de manera saltuaria los cuerpos medanosos.



Figura 47. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

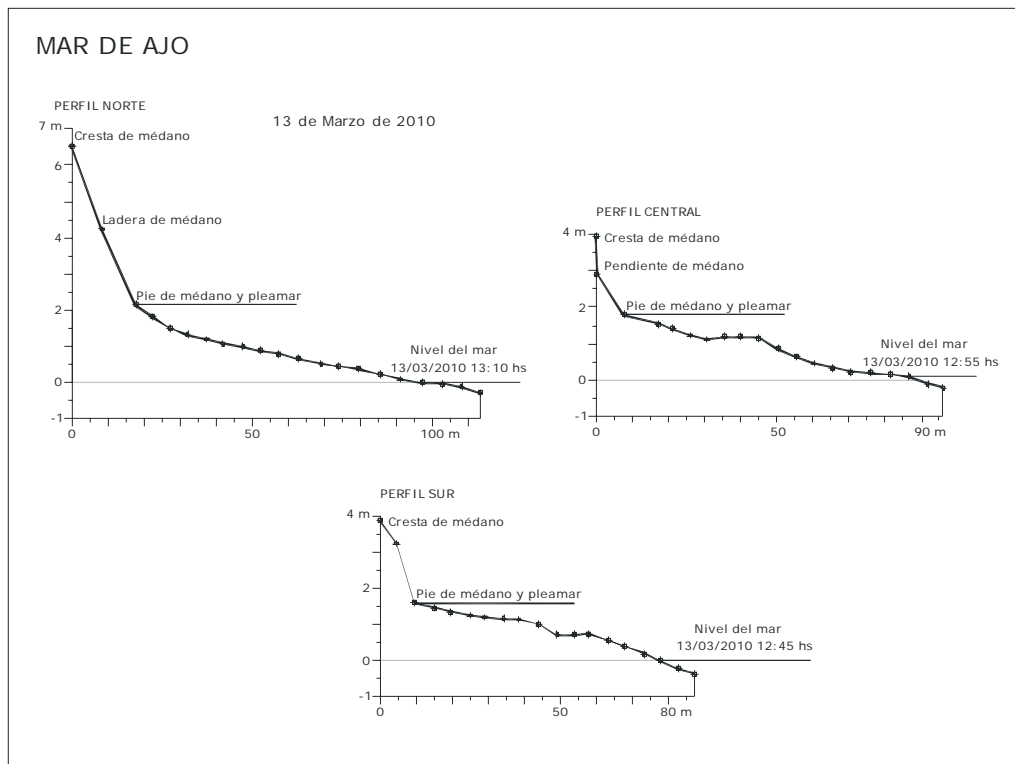


Figura 48. Perfiles topográficos de la playa.

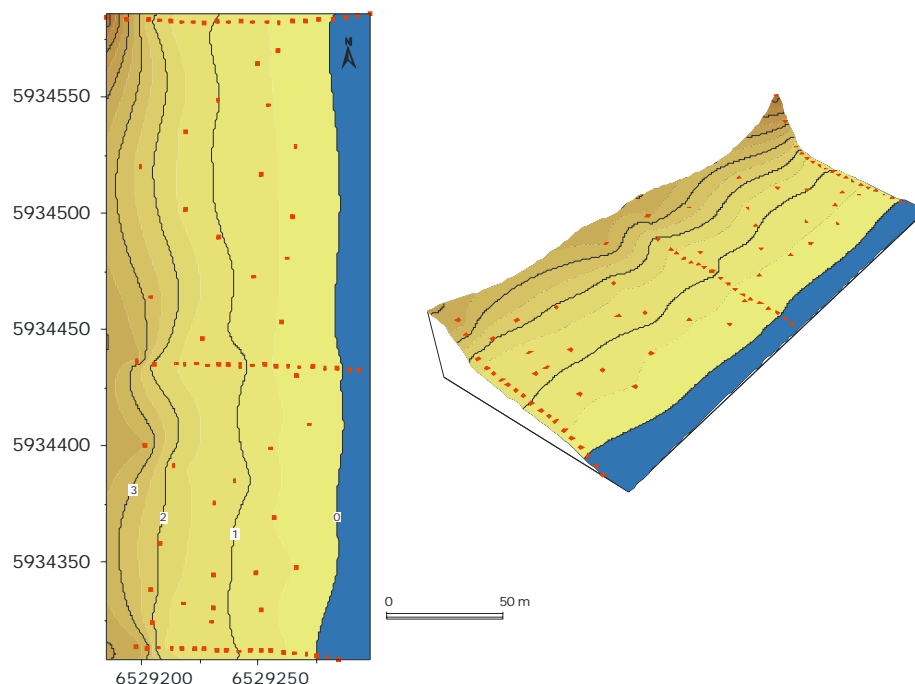


Figura 49. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.7 Punta Médanos (Figs. 50 a 53)

Esta playa fue relevada el 14/03/2010, donde se confeccionaron tres perfiles, el Norte a continuación del camino de acceso (de 166 m), el Central a 200 metros al sur del anterior (de 178 m), y el sur, a 209 metros al sur del anterior (de 195 m).

Hacia el continente hay un gran campo de médanos que superan holgadamente los 5 m snm y los 3 m sobre el nivel de la playa. Prácticamente entre un 70 y un 80% pertenece a la playa distal, o sea playa libre para uso recreativo. La pendiente total es de 2,11% y la de la playa frontal es de 5,26%. Presenta una morfología irregular, con una gran cresta de berma de más de 1 metro por sobre el nivel de la playa circundante; está ubicado a 120 metros del comienzo del perfil.

**Posición de la línea de ribera:** Si bien las características geomorfológicas de esta playa permiten visualizar claramente una gran cresta de berma, que separa claramente la playa frontal de la playa distal (“playa seca”) y que correspondería a la acción de las olas durante las mareas normales (Fig. 52), la línea de ribera se ubica en la cresta del médano frontal. El criterio adoptado es que todo el perfil de la playa desde el médano frontal es el resultado de un conjunto de factores que incluyen las mareas ordinarias, los vientos, las olas y las tormentas. Estas últimas, con valores altos (hasta > 1m sobre la marea astronómica) en recurrencias decadales frecuentes (v. sección 2.1.2), suman la acción de fuertes vientos y un incremento de la altura de la ola y su efecto de “runup” (v. Glosario), por lo que debe salvaguardarse el concepto integral de playa en estos criterios, extensivos a todas las playas de considerable extensión y acumulación de arenas que se



desarrollan en importantes sectores de las barreras medanosas oriental y austral, fuertemente asociadas a la interacción médano-playa.



Figura 50. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

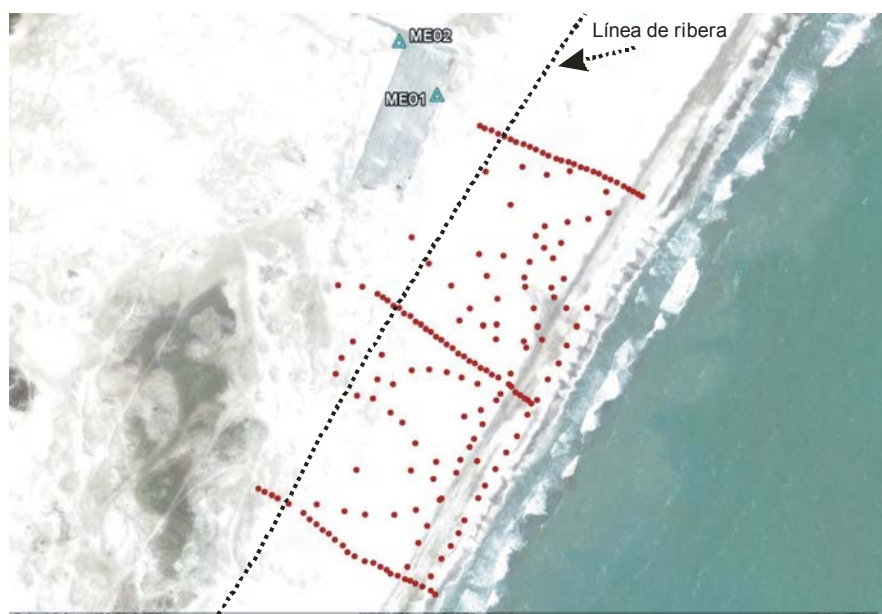


Figura 51. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

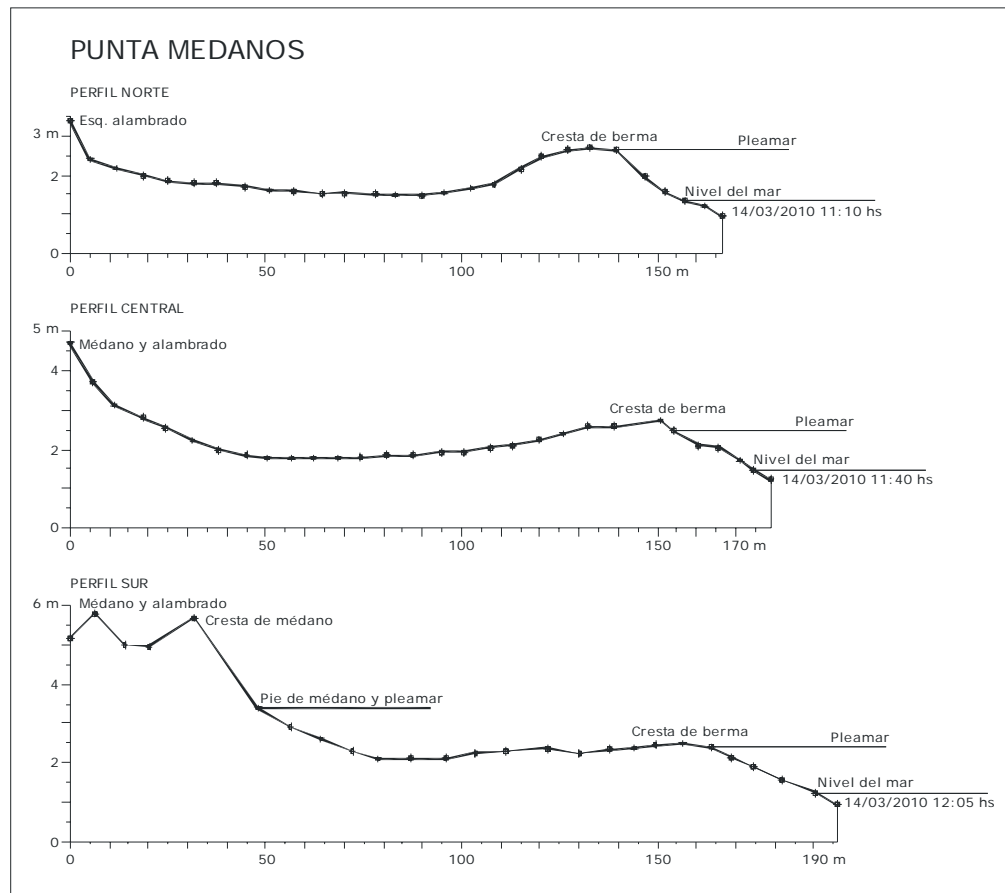


Figura 52. Perfiles topográficos de la playa.

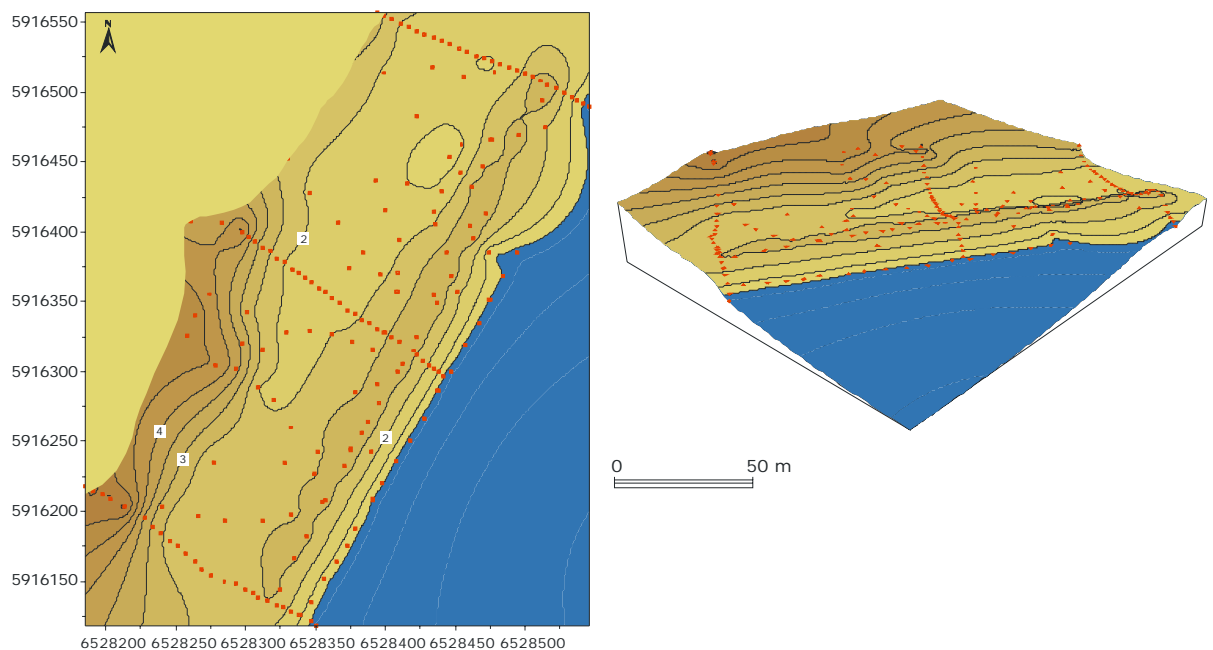


Figura 53. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### **4.8. Villa Gesell (Figs. 54 a 57)**

Esta playa que fue relevada el 12/03/2010 posee sólo un perfil alineado a la calle 105, junto al Balneario Marli; posee 101 m de longitud. Su pendiente es de 2,9% y la de la playa frontal es de 3,16%. Más de un 60% del perfil pertenece a la playa frontal y no hay médanos, sólo pequeñas acumulaciones artificiales mediante enquinchados. Hay una pequeña barra a los 50 m del inicio del relevamiento de pocos centímetros.

Esta playa también fue medida en el 2006 (Scalise et al., 2007) con perfiles que llegaban sólo hasta los 60 m, e inclusive menos. Para entonces se observaba una paulatina ganancia en el nivel topográfico de arena en la playa distal (o sea en altura, pero no en longitud).

Las pendientes fueron aumentando a lo largo del tiempo, llegando a extremos de 6,08% en el 2007. La playa frontal también llegó a 6,0% durante ese año. Apenas 150 m al sur, frente a la calle 107 se midió la playa entre 1994 y 2004 (Bértola, 2006). Por entonces se observó que las mayores variaciones se verificaban apenas a 40 m de la calle costanera y la estructura balnearia. Todas las calles funcionan como aliviadores pluviales (construidos a fines de 1998) que causan notables escarpas de playa de hasta 1,2 m.

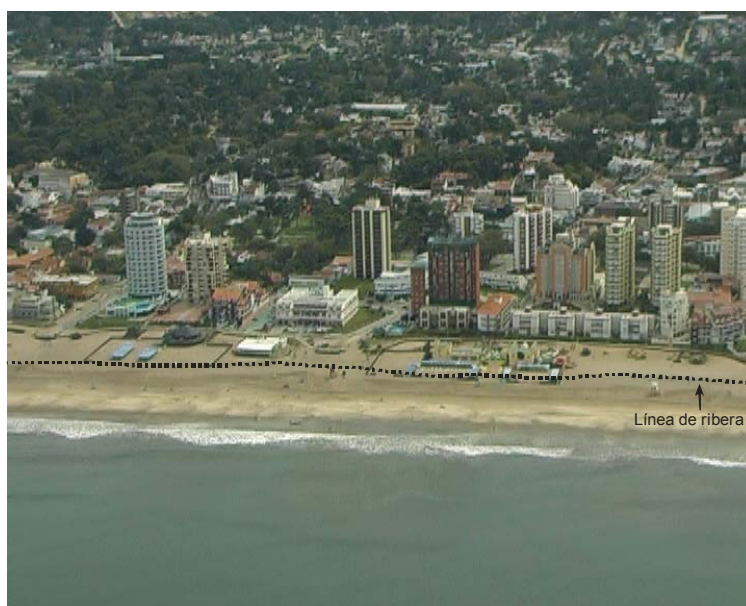


Figura 54. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Si bien en esta localidad se han ido retirando sistemáticamente las construcciones duras, reemplazadas gradualmente por construcciones blandas, las distorsiones de la playa en sus condiciones naturales no dejan de ser importantes, por lo que la posición de la línea de ribera responde más a las condiciones antrópicas que a la dinámica misma del mar. Por esto es que la misma ("zona o línea de deslinde") se establece en el contacto de las

construcciones y la playa y que prácticamente nunca es alcanzada por el mar en situaciones normales.



Figura 55. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

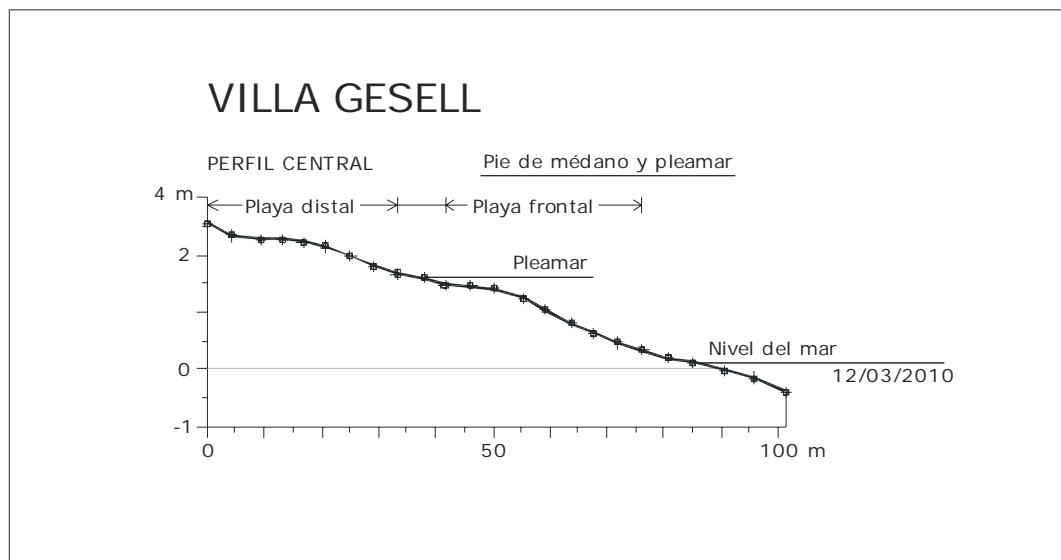


Figura 56. Perfil topográfico de la playa.

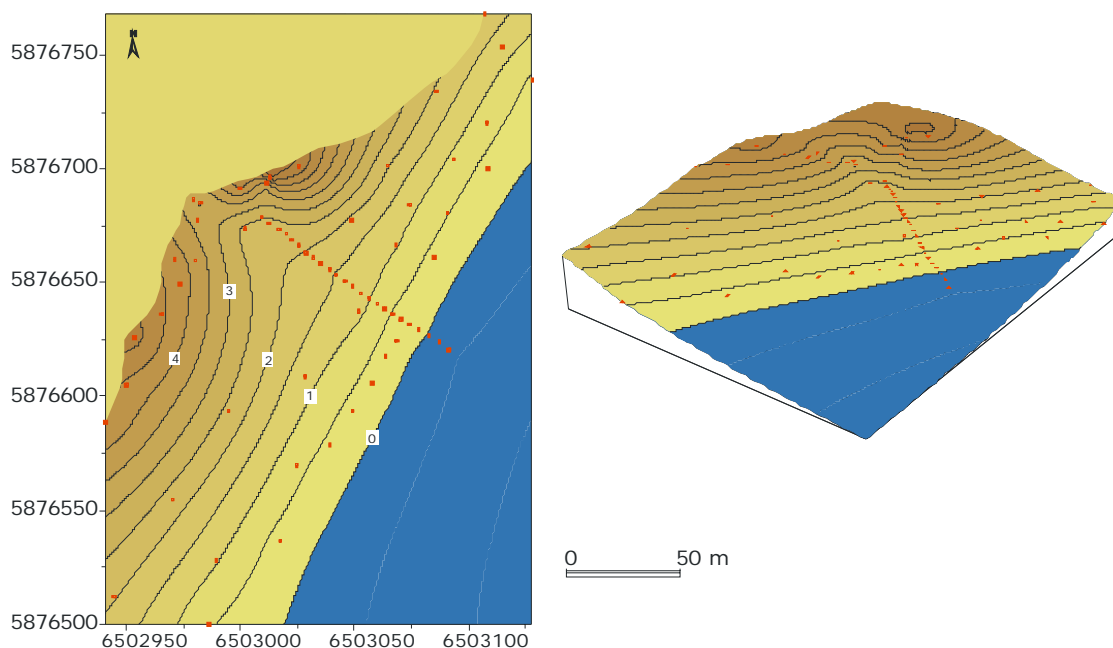


Figura 57. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.9. Mar Azul

Esta playa fue relevada el 12/03/2010, mediante tres perfiles, el Norte alineado al Balneario Mar Azul (de 213 m), el Central a 100 metros al sur del anterior (de 183 m), y el sur, a 152 metros al sur del anterior (de 174 m). Posee médanos de casi 12 m.s.n.m. que representan casi 9 m por sobre la playa. Del total de la playa, el 50% está representado por la playa distal y el 29% por la playa frontal. La pendiente total es de 2,75% y la de la playa frontal es de 4,12%. Presenta una morfología irregular, con 2 barras que incrementan su altura hacia el continente, a 120 y 150 metros del comienzo del perfil.

Esta playa también fue relevada durante el 2006 y 2007 (Scalise et al., 2007). Durante el año 2006 el perfil fue de 100 m de longitud, en tanto que durante el 2007, y debido al estado de la marea, sólo pudo medirse 70 m. En el 2006 los primeros 30 m tuvieron una topografía casi horizontal, y a partir de allí hay 2 secciones con pendientes diferentes, la primera de 30 m a 70 m y la segunda de 80 a 100 m. En las mediciones del 2007 se apreció que la playa sufrió una pérdida de arena en su sección distal superior, material que se acumuló en la playa distal inferior, donde la pendiente se hizo más pronunciada entre los 55 y los 70 m. La pendiente general disminuyó desde el 2006 al 2007 desde un 2,95% a 2,51%, en tanto que en la playa frontal, la pendiente aumentó desde un 6,35% a un 11,25%. Balances: Durante el período que medió ambos relevamientos, la playa aumentó su volumen en 328 m<sup>3</sup>.





Figura 58. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** en esta localidad existe una amplia playa en contacto con un frente de medanos móviles, los que hacia atrás están forestados y urbanizados. La amplia playa presenta una berma bien desarrollada que separa la playa distal de la frontal, pero como en casos anteriores, y dado la variabilidad de este rasgos del paisaje, la línea de ribera se sitúa en la cresta de los primeros médanos.



Figura 59. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

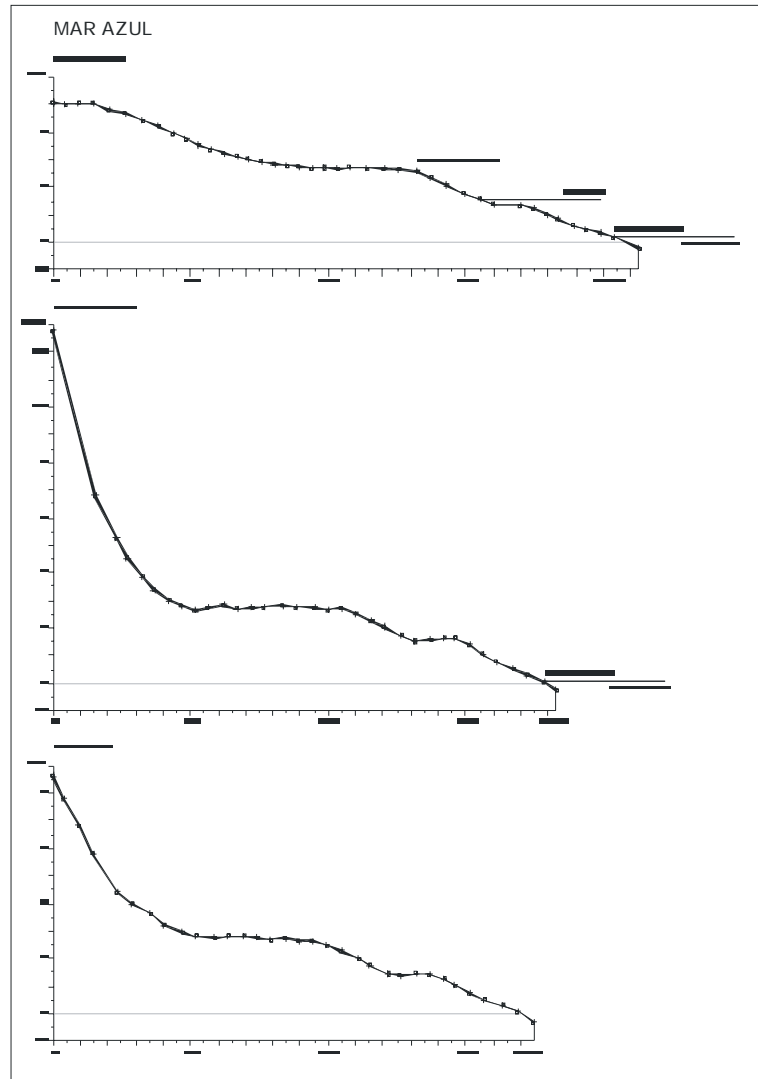


Figura 60. Perfiles topográficos de la playa.

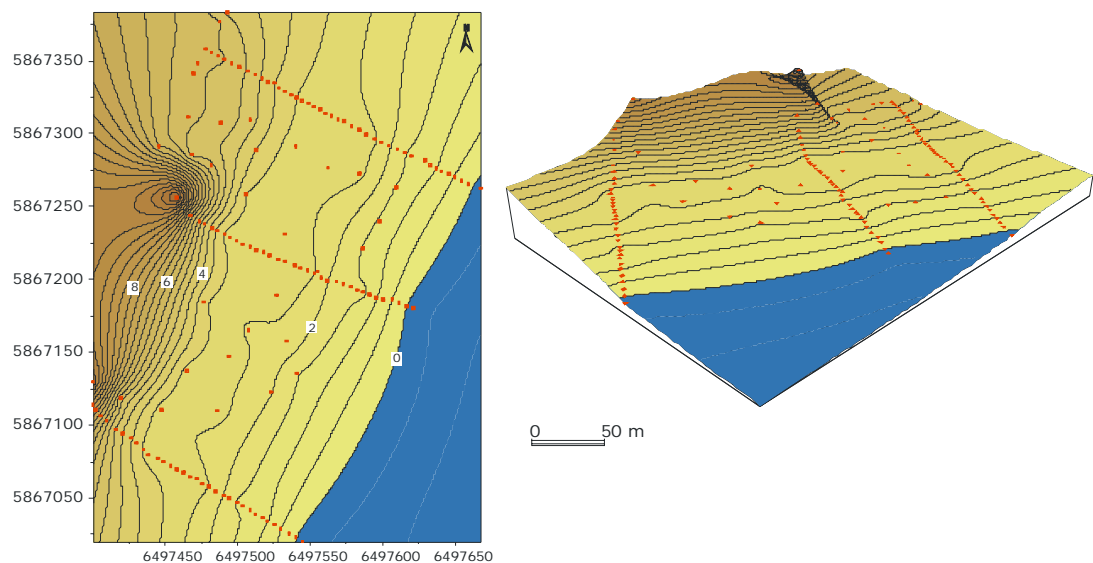


Figura 61. Mapa topográfico y diagrama altimétrico del terreno.

#### 4.10 Mar Chiquita (Figs. 62 a 65)

Este perfil relevado el 15/03/2010, presenta una longitud de 63 metros. Fue realizado alineado a la Avenida San Martín. Posee un médano sumamente degradado de casi 6 metros, donde muchas propiedades han construido accesos, patios y quinchos. Un 90% del perfil está ocupado por la playa frontal, dejando muy pocos metros de playa libre para uso recreativo. La pendiente total es de 5,17% y la de la playa frontal es de 4,85%. Presenta una morfología regular, sin rasgos de consideración.



Figura 62. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Debido a la regularidad de la playa y a la escasa anchura, la posición de la línea de ribera, al igual que en casos anteriores, la establecemos en la cresta del primer cuerpo medanoso.



Figura 63. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.



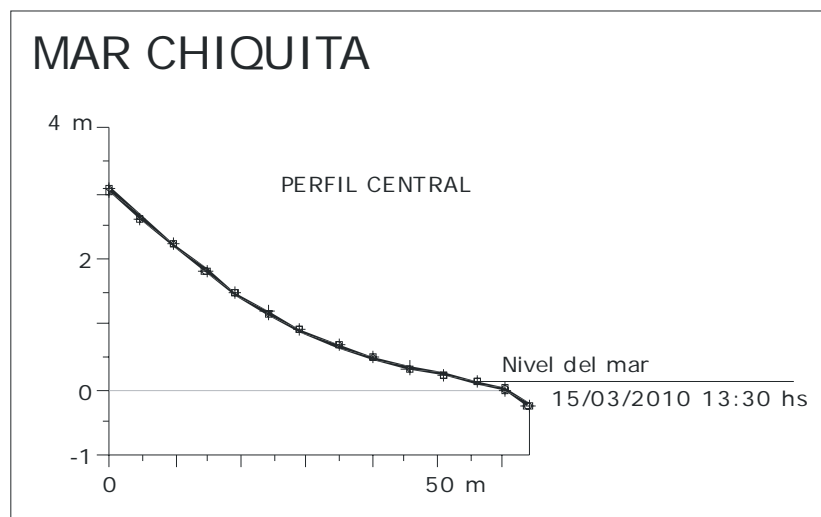


Figura 64. Perfil topográfico de la playa.

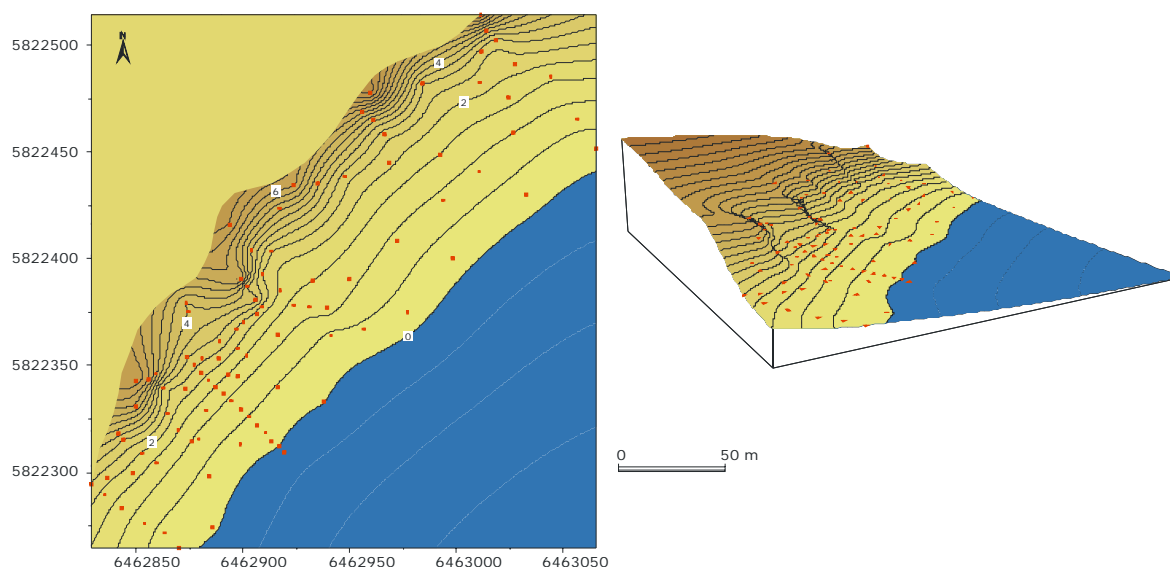


Figura 65. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.11 Camet Norte (Figs. 66 a 69)

Esta playa, con una longitud de 65 metros, fue relevada el 15/03/2010 y fue confeccionada a continuación de la calle Victorino de La Plaza. Todo el frente costero está sobre un acantilado de más de 2 metros, por lo que no hay médanos, y su relieve hace que el 100% del perfil pertenezca a la playa frontal, ya que diariamente el agua llega al pie del acantilado. La pendiente es de 3,49% y posee un relieve de morfología regular.



Figura 66. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Debido a que el mar en marea alta golpea la base del acantilado, a pesar de existir una angosta playa, la línea de ribera se ubica en la cima del acantilado

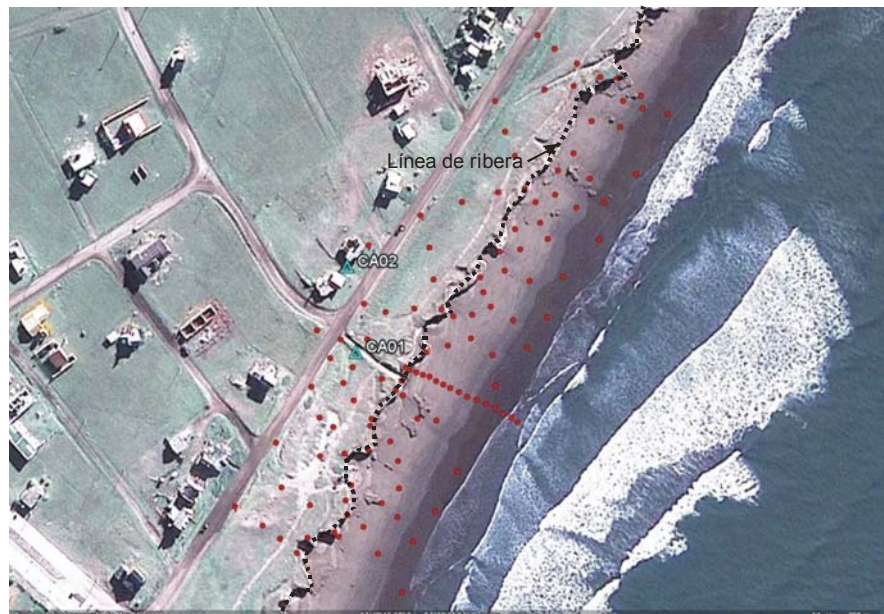


Figura 67. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

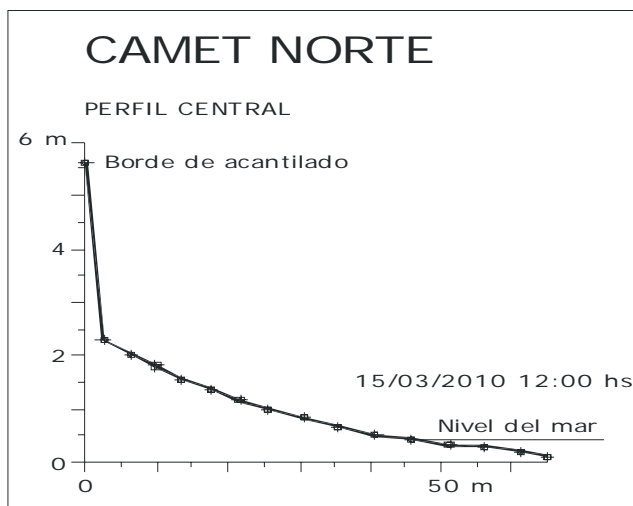


Figura 68. Perfil topográfico de la playa.

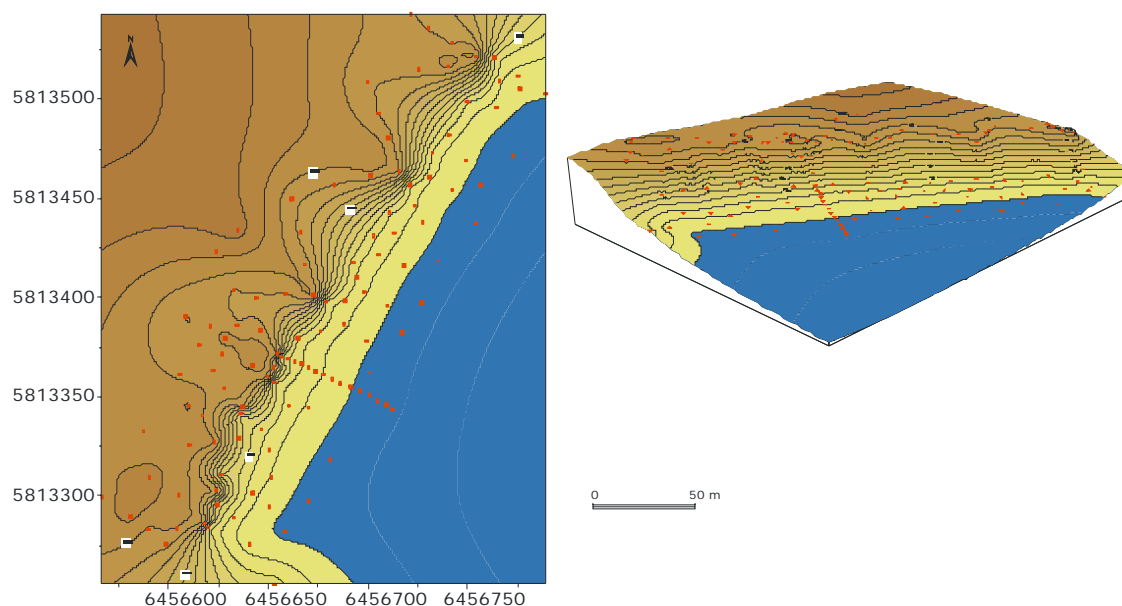


Fig. 69. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.11. Barrio Alfaro (Figs. 70 a 72)

Esta playa fue relevada el 22/03/2010, mediante dos perfiles alineados a sendos montículos medanosos artificialmente construidos para separar los balnearios. El Norte tiene 88 m y el Sur 75 m, y están separados por 161 m. Los médanos poseen casi 8 m.s.n.m., pero en la zona de estudio ha sido eliminado para la implantación del estacionamiento. Casi el 70% del perfil está ocupado por la playa frontal. La pendiente total es de 3,66% y la de la playa frontal es de 3,29%. Presenta una morfología regular, con una pequeña cresta de berma de pocos centímetros a 70 metros del comienzo del perfil.

**Posición de la línea de ribera:** las características geomorfológicas naturales de esta playa han sido modificadas en gran medida por la acción antrópica. No solo la construcción de diferentes obras de infraestructuras, sino también el aplanamiento de médanos y playas lleva a que no pueda identificarse ningún rasgo morfológico más o menos estable que permita separar el límite mar-tierra. En función de esto, y ante situaciones similares, se recomienda apoyarse en áreas adyacentes con situaciones menos degradadas y con morfologías mas claras (límites médanos-playas) y continuarlas más o menos rectas a través de estas zonas, que muy probablemente en las situaciones iniciales tenían similares características.



Figura 70. Imagen Google Earth® de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

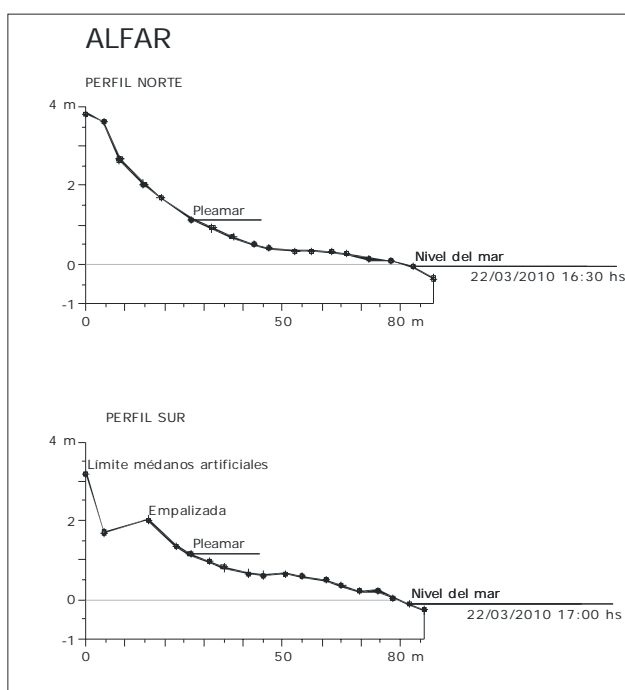


Figura 71. Perfiles topográficos de la playa.

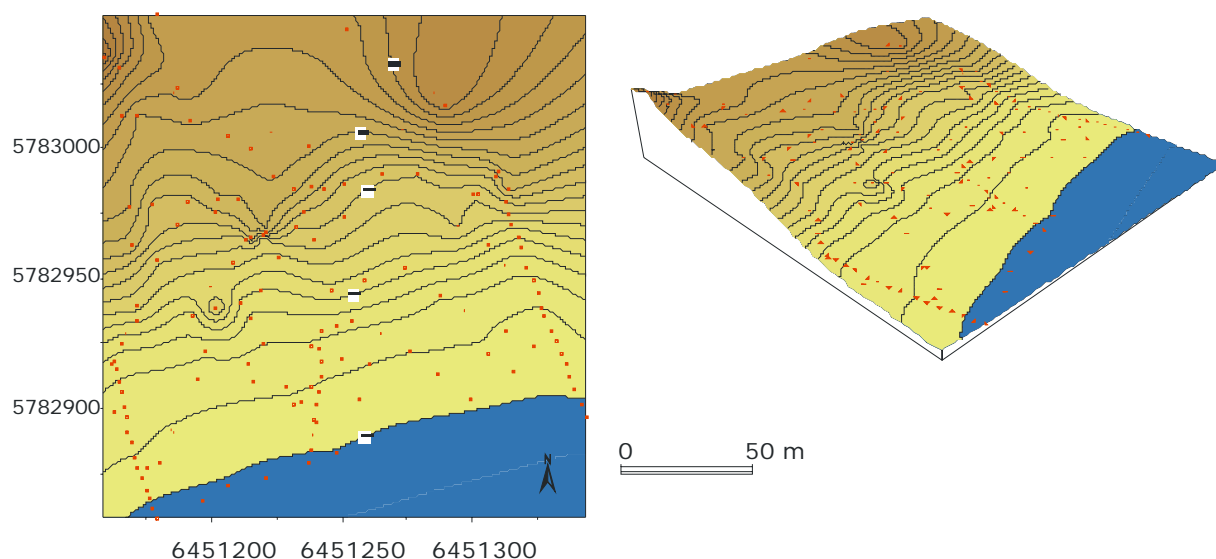


Fig. 72. Mapa topográfico y mmodelo digital del terreno.

#### 4.12. Mar del Sur–Norte

Esta playa está emplazada entre cabos rocosos acantilados y entre la desembocadura de los arroyos “La Carolina” al Suroeste y “La Tigra” al Noreste. Esto genera geomorfológicamente una gran bahía con playa en bolsillo y formación de médanos que llegan a los 8 m.s.n.m. (aunque en los perfiles sólo aparecen representados por no más de 2,5 m sobre el nivel de la playa) pero muy degradados en la zona urbana, y una playa extensa de más de 150 m.

Fue relevada el 20/03/2010 mediante tres perfiles: el Norte alineado al Balneario Cocoloco (de 150 m), el Central alineado a la Calle 98 y junto a la desembocadura del Arroyo La Carolina (a 62 metros al sur del anterior –de 122 m-), y el Sur, a 185 metros al sur del anterior (de 113 m) y alineado a la Calle 94.

La pendiente general es de 3,5% en los perfiles junto al casco urbano y de 6,8% en la zona al Sur de la misma. Por otro lado la pendiente de la playa frontal es mayor en los perfiles cerca del pueblo (6,2%) que en el perfil sur (3,7%).

Las áreas de playa distal llegan a máximos de 61% en los perfiles Norte y Central y de 32% en el del sur. Aquí es mayor la zona perteneciente a la playa frontal, con casi un 60%.

El relieve es irregular, con 2 crestas de berma en el perfil Norte, 1 en el central y desaparece en el sur.





Figura 73. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Tal como queda expresada en el informe es posible observar en sectores claramente la berma, aunque en otros este rasgo se desdibuja bastante, haciendo difícil su observación. Asimismo se observa que el limite de la playa esta asociada a micro acantilados o la transición de éstos con una plataforma de abrasión cubiertos a su vez por médanos parcialmente vegetados, lo que permitiría establecer en este sector la línea de ribera.



Figura 74. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

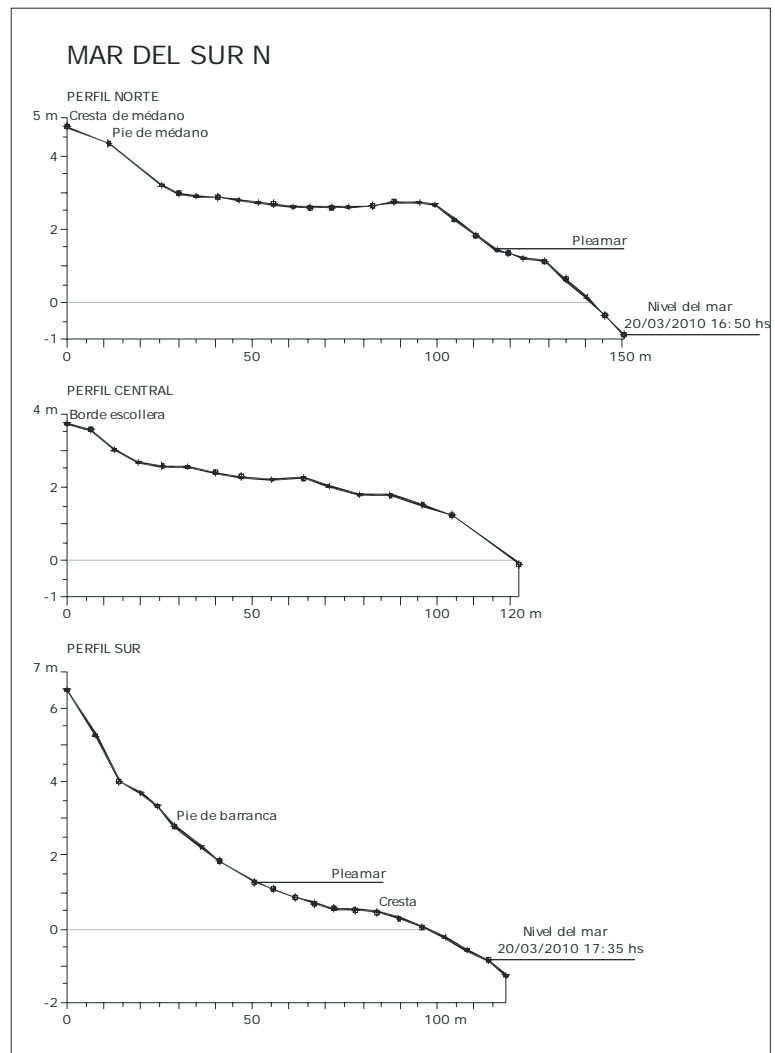


Figura 75. Perfiles topográficos de la playa.

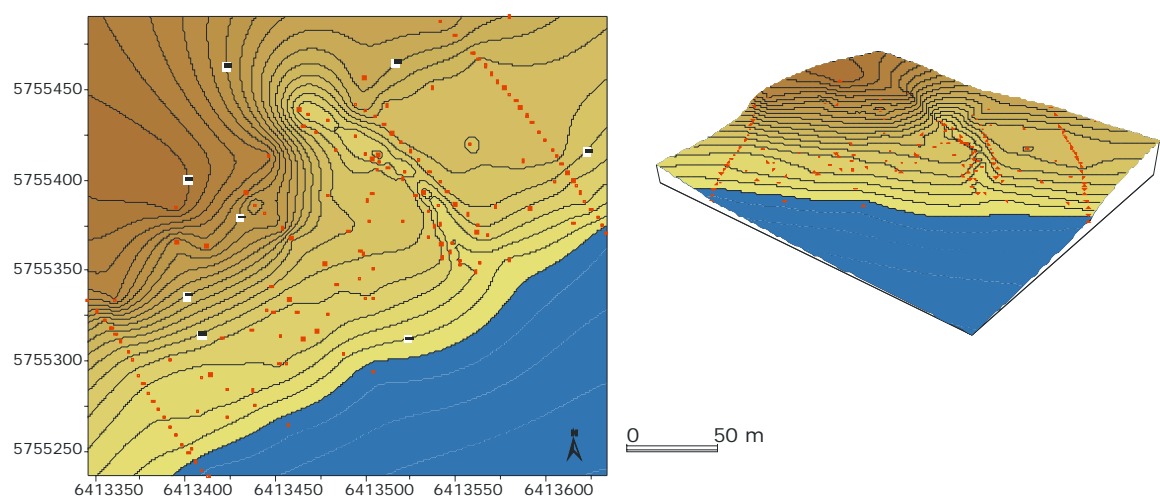


Figura 76. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### **4.14. Mar del Sur –Sur**

Esta playa se ubica entre acantilados y fue relevada el 20/03/2010, en dos perfiles separados por 368 m. El perfil norte (de 54 m de longitud) se ubica a continuación de la Calle 88, en tanto que el sur, de 115 m se ubica a continuación de la Calle 80. Los médanos han sido degradados y muchas veces el agua llega hasta el pie del acantilado.

La pendiente total es de 4% en el perfil norte y 7% en el sur, en tanto que la pendiente de la playa frontal es más pareja entre ambos perfiles, llegando hasta un 4,8%. En ambos perfiles más del 50% está diariamente cubierto de agua por efecto de las mareas.

El perfil sur presenta una cresta de berma a los 75 m del comienzo del perfil, en tanto que el perfil norte posee relieve homogéneo.



Figura 77. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Si bien al pie de los acantilados se desarrolla una playa y en ella en determinados momentos se puede apreciar una berma, su escasa anchura determina que situemos la línea de ribera en el borde superior de los acantilados, los que en sectores están parcialmente degradados y cubiertos por médanos.





Figura 78. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

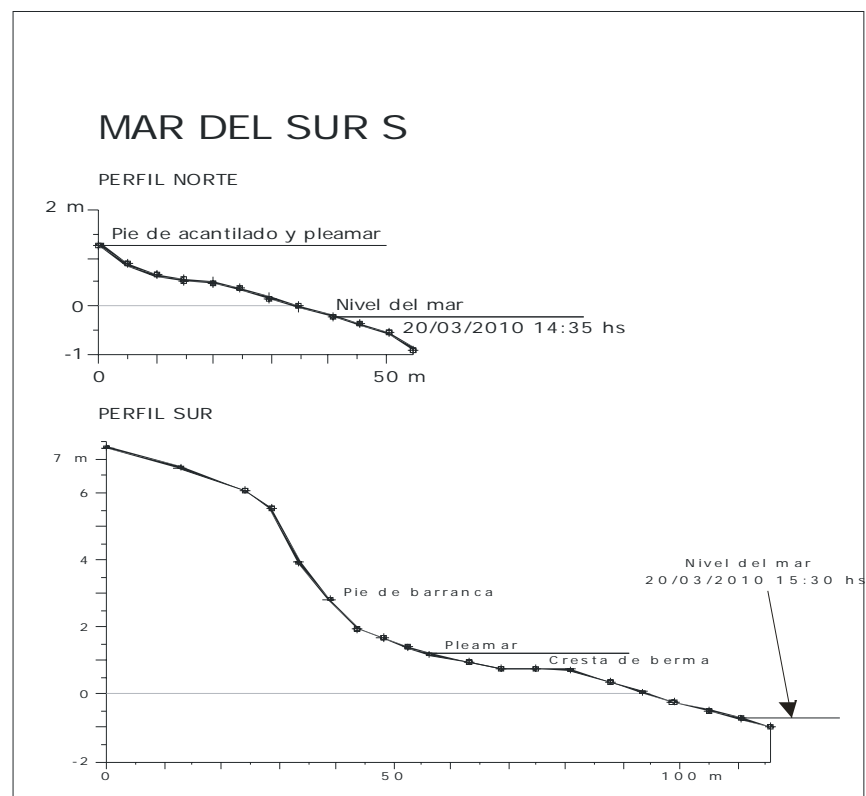


Figura 79. Perfiles topográficos de la playa.

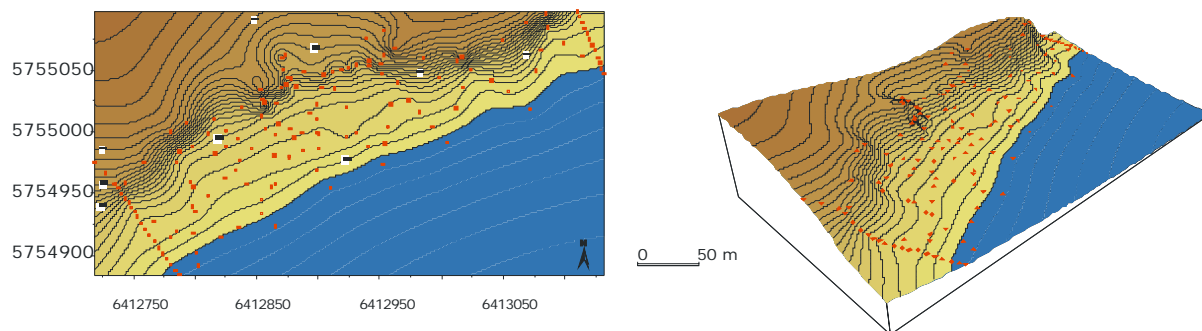


Figura 80. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.15 Arenas Verdes (Figs. 81 a 84)

Esta playa fue relevada el 21/03/2010, mediante dos perfiles separados por 235 m entre sí. El norte (de 61 m de longitud) posee una cresta de berma a los 40 m del inicio del perfil, en tanto que el sur (de 53 m) la posee a los 20 m. Ambos perfiles están limitados con acantilados de casi 7,8 m.s.n.m. Por detrás de esos acantilados y apoyados sobre ellos, hay una cadena medanosa de casi 13 m.s.n.m.

Frente a los acantilados son playas cortas con más de un 60% cubierto diariamente por las aguas de la playa frontal. La pendiente total es de 14% y la de la cara de playa es de 6,8%.



Figura 81. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.

**Posición de la línea de ribera:** Si bien al pie de los acantilados se desarrolla una playa y en ella en determinados momentos se puede apreciar una berma, se sitúa la línea de ribera en la parte superior de los acantilados, los que en sectores están parcialmente degradados.

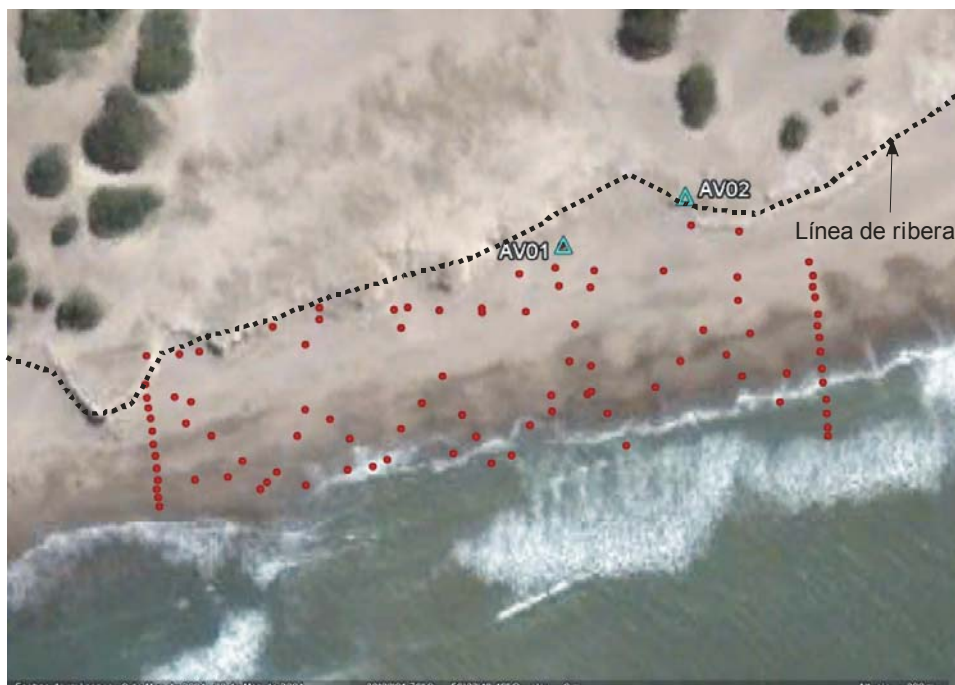


Figura 82. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

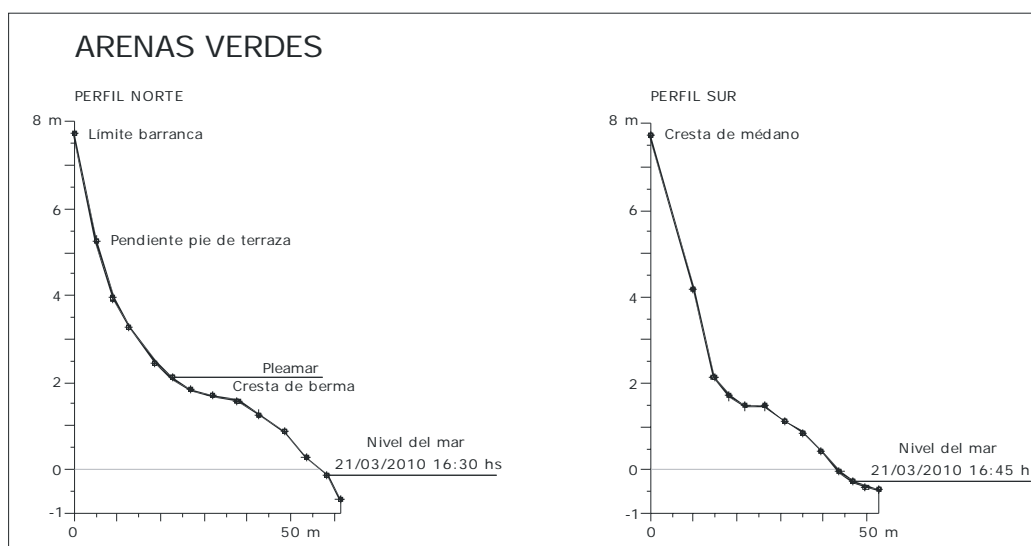


Figura 83. Perfiles topográficos de la playa

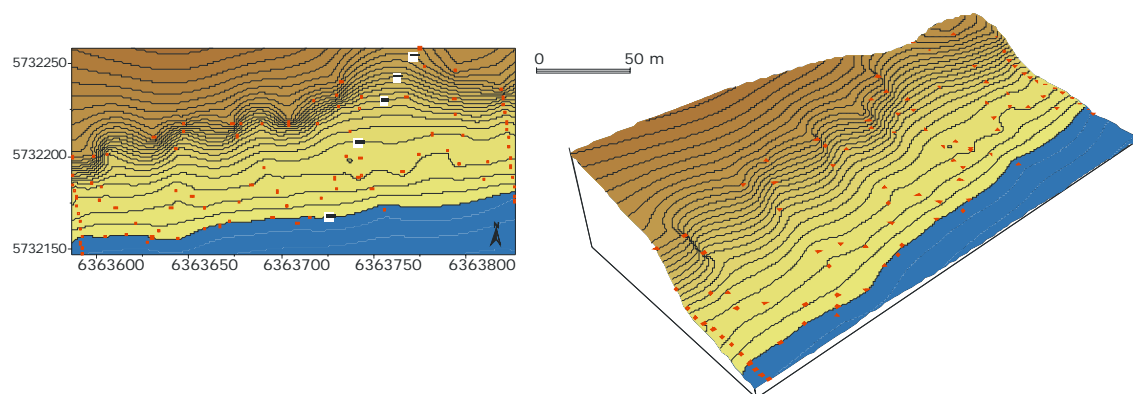


Figura 84. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.16 Costa Bonita (Figs. 85 a 88)

Esta playa fue relevada en dos perfiles separados por 257 m, el 21/03/2010. El norte, de 119 m posee una barra a los 80 m del inicio del perfil que desaparece en el perfil sur (de 86 m). El perfil norte fue realizado junto al balneario.

Posee un médano creado artificialmente hace más de 10 años de 7 m.s.n.m. para separar la calle costanera del mar. Esto ha ocasionado que el agua de lluvia se encauce y destruya las instalaciones del balneario. La pendiente general es de casi 9% y la de la playa frontal es de 4%. Casi un 50% de los perfiles son cubiertos diariamente por la pleamar, dejando un 30 a 45% de playa libre para uso recreativo.



Figura 85. Fotografía aérea oblicua de la localidad con la ubicación de la línea de ribera.



**Posición de la línea de ribera:** La playa en este sector es angosta, asociada con un médano artificial, generándose un contacto neto entre estas dos geoformas. La línea de ribera se sitúa en la cresta de este cuerpo arenoso, asociado en algunos sectores con un microacantilado.



Figura 86. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

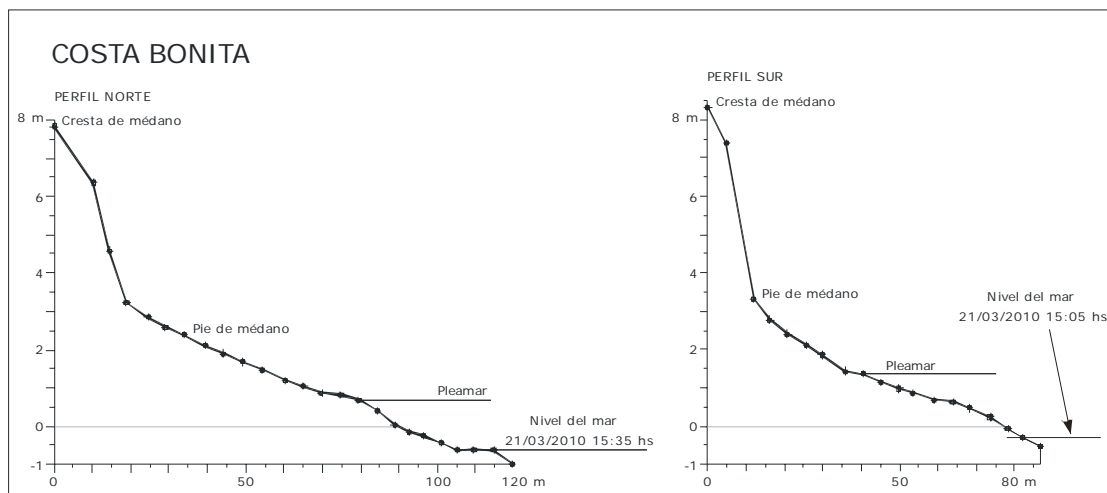


Figura 87. Perfiles topográficos de la playa.

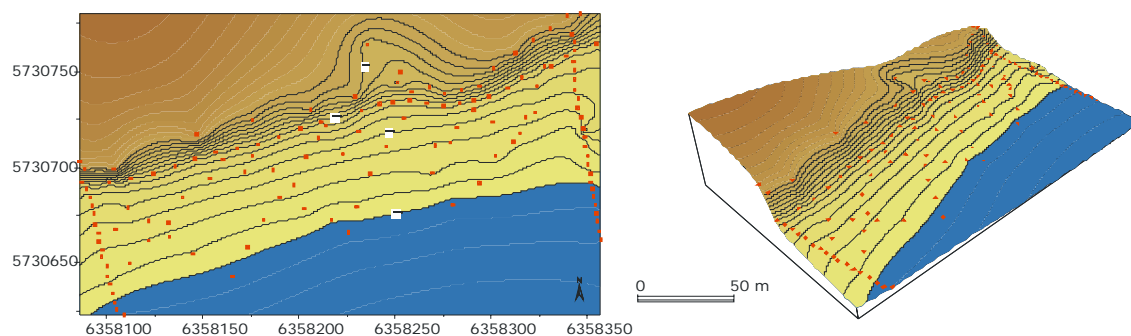


Figura 88. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

#### 4.17 Necochea (Figs. 89 a 92)

Este perfil relevado el 21/03/2010, se ubica en el paraje denominado Las Grutas, con altos acantilados de hasta 9 m.s.n.m. Todo el frente costero presenta una playa poco desarrollada de casi 48 m de ancho. La pendiente es 3,5% y todo el perfil pertenece a la playa frontal, ya que el agua llega diariamente a los pies del acantilado. A diferencia de arenas verdes, donde también hay acantilado, aquí falta el campo de médano sobre ellos.



Figura 89. Fotografía aérea oblicua de la localidad. La posición de la línea de ribera coincide con el borde superior del acantilado.

**Posición de la línea de ribera:** Al pie de los acantilados se desarrolla una playa muy angosta y en sectores una plataforma de abrasión, ocupadas diariamente por las aguas de pleamar. La línea de ribera corresponde en este caso a la parte superior del acantilado.



Figura 90. Imagen Google Earth® con la ubicación de perfiles de playa relevados y de la línea de ribera.

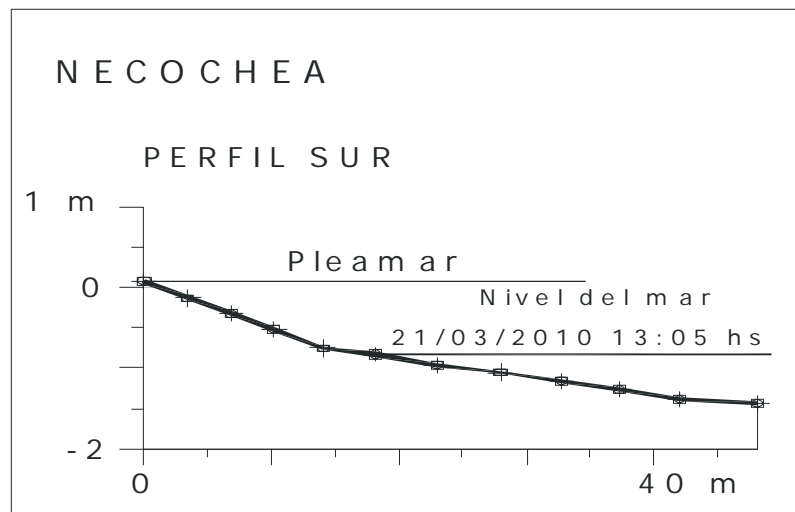


Figura 91. Perfiles topográficos de la playa.



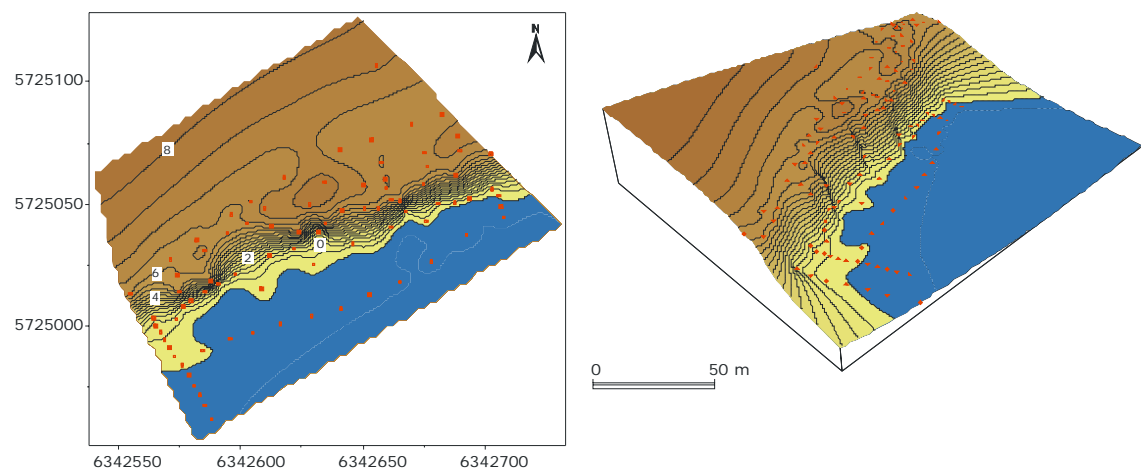


Figura 92. Mapa topográfico y modelo digital del terreno.

Las características generales de las zonas relevadas pueden observarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Características generales de las playas relevadas en el estudio.

	Longitud del perfil (m)	Pendiente del perfil (%)	Pendiente de la playa frontal (%)	% del perfil que pertenece a médano	% del perfil que pertenece a la playa distal	% del perfil que pertenece a la playa frontal	Altura del médano en el perfil (m.s.n.m.)	Altura del médano en inmediaciones del perfil (m.s.n.m.)
San Clemente, perfil Norte	143	4,41	2,43	18	47	35	3,24	8
San Clemente, perfil Sur	187	2,81	1,32	20	30	50	2,86	
Las Toninas, perfil Norte	31	9,22	4,11	11	12	76	1,76	6
Las Toninas, perfil Sur	35	10,73	4,11	27	6	68	2,57	
Santa Teresita	86	2,3	1,56	10	42	48	0,4	
Mar del Tuyú, perfil Norte 13/03/2010	80	2,4	2,02	0	62	38	-	
Mar del Tuyú, perfil Sur 13/03/2010	86	1,96	2,05	0	67	33	-	
Mar del Tuyú, perfil Norte 19/03/2010	100	2,51	2,07	0	42	58	-	
Mar del Tuyú, perfil Sur 19/03/2013	103	2,19	1,96	0	22	78	-	
Mar de Ajó, perfil Norte 13/03/2010	112	6,06	2,56	16	40	45	4,4	6
Mar de Ajó, perfil Central 13/03/2010	96	3,27	2,36	8	44	48	2,18	
Mar de Ajó, perfil Sur 13/03/2010	87	4,86	3,74	11	55	34	2,29	3
Mar de Ajó, perfil Norte 19/03/2010	107	3,8	2,07	7	29	64	1,3	
Mar de Ajó, perfil Sur 19/03/2010	82	3,78	2,5	6	24	70	1,07	

*Determinación de la línea de ribera desde Bahía Samborombón hasta Necochea*

Punta Médanos, perfil Norte	166	1,47	6,21	3	81	16	1	5
Punta Médanos, perfil Central	178	1,95	5,01	3	83	14	1,01	
Punta Médanos, perfil Sur	195	2,91	4,57	10	71	19	2,4	
Villa Gesell	101	2,92	3,16	0	37	63	-	
Mar Azul, perfil del Balneario	213	2,65	3,05	19	52	28	1,3	
Mar Azul, perfil Central	183	2,49	5,14	20	52	28	9,42	
Mar Azul, perfil Sur	174	3,12	4,17	13	56	30	4,23	
Mar Chiquita	63	5,17	4,85	0	7	93	-	6
Camet Norte	65	3,49	3,49	0	0	100	-	
Barrio Alfar, perfil Norte	88	4,75	2,44	0	30	70	2	8
Barrio Alfar, perfil Sur	75	2,58	4,15	0	6	94	-	
Mar del Sur Norte, perfil del Balneario	150	3,76	6,76	17	60	23	1,6	8
Mar del Sur Norte, perfil del Arroyo	122	3,13	5,38	11	61	28	0,72	
Mar del Sur Norte, perfil Sur	113	6,82	3,74	8	32	60	2,5	
Mar del Sur Sur, casas en el mar, perfil Norte	54	3,99	3,99	0	0	100	-	
Mar del Sur Sur, casas en el mar, perfil Sur	115	7,19	4,89	38	11	51	-	
Arenas Verdes, perfil Norte	61	13,7	7,25	0	37	63	-	
Arenas Verdes, perfil Sur	53	15,4	6,22	0	43	57	-	
Costa Bonita, perfil Norte	119	7,39	4,04	16	47	37	4,61	7
Costa Bonita, perfil Sur	86	10,21	4,09	14	33	53	5	
Necochea, Las Grutas	48	3,52	3,52	0	0	100	-	

## **5. VARIABILIDAD DE LA COSTA Y LÍNEA DE RIBERA**

Para una adecuada determinación de la línea de ribera deben considerarse las diferentes condiciones que se observan en la zona costera bonaerense objeto de este informe. La erosión constituye uno de los problemas de mayor relevancia. Este proceso es provocado por un conjunto de forzantes actuales, pasados y potencialmente futuros, entre los que cabe mencionar:

- Las sucesivas forestaciones que han estabilizado los campos de médanos, eliminado las depresiones intermedanasas y alterando su dinámica, transformando estos sectores en trampas de sedimentos.
- Las extracciones de arena para la construcción han producido un faltante de material, causando en la zona de playa un balance negativo.
- La disfuncionalidad de los médanos debido a la urbanización impide el intercambio de arenas con la playa, contribuyendo de este modo a la erosión. La impermeabilización elimina áreas de recarga del agua subterránea.
- La construcción de espigones y/u otras formas de protección costera han derivado en la mayoría de los casos en soluciones locales, acrecentando los problemas de erosión en el sentido de la deriva litoral.
- El aumento del nivel del mar y de la frecuencia e intensidad de las ondas de tormenta (“sudestadas”) podría ocasionar un incremento importante de los procesos descriptos.

Por los conocimientos de la evolución de las costas en escala global y regional puede advertirse que esta interfase está sujeta a distintas variables que las hacen cambiar permanentemente. Desde el punto de vista de las condiciones naturales no existe un límite neto que delimite los ambientes litorales del dominio continental, ya que como se ha expuesto anteriormente, el perfil litoral tiene un carácter dinámico debido a las variaciones diurnas de las mareas, la acción del oleaje con distintos grados de energía, la ocurrencia de episodios de alta energía (sudestadas) y las acciones antrópicas que modifican sustancialmente el balance de sedimentos. Además, deben considerarse las variaciones seculares del nivel medio del mar. El estudio de los registros mareográficos de la Argentina ha aportado resultados que muestran un incremento del nivel del mar coincidente con la tendencia global. En la región de estudio el nivel medio asciende a 1,4 mm/año según registros del mareógrafo de Mar del Plata para el período 1954-2002 (Lanfredi et al., 1998; Pousa et al., 2007). Los escenarios de aceleración de ese aumento global, que según el IPCC alcanzaría un incremento de entre 0,09 y 0,9 m durante el siglo actual (IPCC, 2001), pese a la diferencia

entre los valores extremos, sugerirían un incremento total de unos 30 cm como valor promedio. Esta interfase es, entonces, una “zona” variable que puede retroceder o avanzar, según situaciones locales. Si a estas condiciones agregamos la erosión crónica establecida en algunas playas, puede advertirse la variabilidad de la “línea de costa” natural y por ende del límite que debe fijar la ley.

Bajo estas condiciones, puede decirse que el crecimiento o decrecimiento de las acumulaciones de sedimentos que conforman el sistema litoral depende de un concepto ligado al “balance de sedimentos”, esto es un sistema de ganancias y pérdidas que tiene componentes locales y regionales. Así, por ejemplo, si se extraen arenas con destino a la construcción habrá una disminución de materiales disponibles para alimentar las playas y dunas. Asimismo, si se urbaniza o foresta un sector de médanos, se imposibilitará el intercambio de arenas con la playa.

Como las variables que actúan sobre el sistema costero causan modificaciones en la configuración de la zona, es decir, en la morfología, cabe recomendar que la definición de la línea de ribera, con fines legales y de planificación del espacio costero se fundamente en criterios geomorfológicos y morfodinámicos. Estas determinaciones deberían ser periódicamente actualizadas según las particularidades de los distintos tramos costeros.

Se ha mencionado precedentemente que en costas dominadas por olas, los registros mareográficos subestiman las elevaciones y posiciones horizontales reales que el agua alcanza sobre la playa como resultado de su avance ascendente sobre la pendiente (“runup”, v. Glosario), alcanzando un nivel más alto que el indicado por el registro para el mismo instante y una mayor inundación. En playas arenosas de bajo gradiente, rasgos naturales tales como la escarpa de erosión (en médanos frontales) y la línea de vegetación reflejan precisamente las posiciones de los máximos niveles frecuentes del agua y la cresta del berma refleja la posición de las más frecuentes pleamares ordinarias (astronómicas y predecibles), mientras que *los registros mareográficos consistentemente predicen menores niveles máximos y promedios de inundación de la playa* (Morton and Speed, 1998). Estos registros indican el nivel “real” de los niveles del mar, que incluyen el conjunto de variables que modifican los niveles predichos.

Puede darse el caso de que una tormenta de considerable intensidad, con incremento del nivel del agua y de la energía del oleaje, coincida con uno o más fases de pleamares de sicigias (las astronómicas más altas), por lo que sus efectos pueden manifestarse en todo el perfil de la playa, aún en las más anchas. De este conjunto de forzantes resulta la configuración costera.

En tal sentido, consideramos que prioritariamente la línea de ribera debería fijarse sobre la base de un rasgo morfológico claramente discernible en el terreno, que indique el límite de la acción marina, o perceptible mediante percepción remota, que pueda ser mapeable y monitoreado en el tiempo. Si bien la “línea” (o, más propiamente “zona”) de ribera en la naturaleza corresponde a una interfase que se ubica al pie del médano o del acantilado, donde hay interacción marina-

continental, por razones de aplicabilidad se propone su delimitación por proyección vertical en el borde superior de estos rasgos:

- El borde superior de un acantilado, ya que los procesos de socavamiento por acción del oleaje en su base generan procesos gravitaciones de todo el conjunto rocoso (Fig. 92).

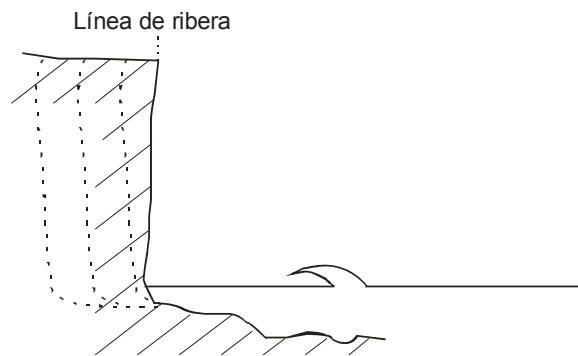


Figura 92. Línea de ribera en zona de acantilados.

- La cúspide del médano frontal (borde superior del espaldón), generalmente resaltado por un escalón muy claro (Fig. 93).

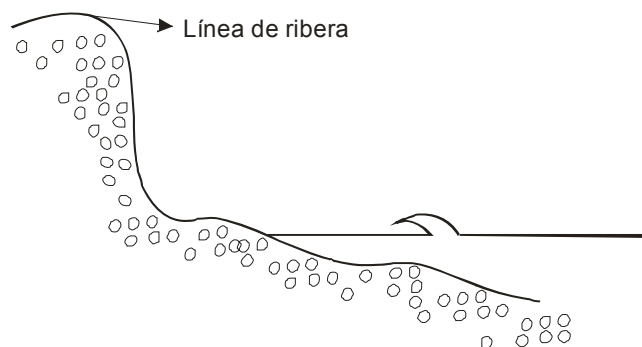


Figura 93. Línea de ribera generalizada en costa arenosa.

- En los casos de playas muy extensas donde predomina la playa distal ("playa seca") sobre la playa frontal, separados claramente por uno o más bermas, y a pesar de que en la

primera la acción eólica constituya un proceso dominante, pudiendo desarrollarse inclusive vegetación, considerando las recurrencias decadales de las ondas de tormenta, el límite debería fijarse en la cúspide del primer médano (Fig. 94).

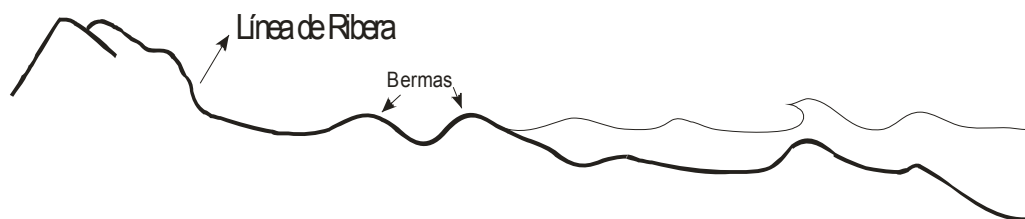


Figura 94. Línea de ribera en sistemas duna-playa extensos.

- En el caso de zonas muy intervenidas, cabría la utilización del término “línea de deslinde”, debido a la presencia de obras (urbanización, balnearios con estructuras rígidas, otras estructuras artificiales) que desvirtúan la delimitación de una línea de ribera basada en rasgos naturales.

En los ámbitos donde la acción antrópica ha producido cambios morfológicos significativos, o en presencia de rasgos difusos que imposibiliten la determinación de la línea de ribera de acuerdo a las consideraciones precedentes, Schnack et al. (2007-b) recomendaron la aplicación del HAT (máximo nivel *astronómico*, v. Glosario), promediando las pleamares máximas anuales de 19 años o haciendo una recurrencia de pleamares máximas para 10 años. Estos datos se refieren a un valor *absoluto* (el “máximo” astronómico) y se obtienen de los cálculos que resultan en las Tablas de Marea de uso habitual y no en los registros mareográficos, que reflejan los niveles “reales” alcanzados.

Sin embargo, en el presente estudio se plantea como alternativa general el uso de indicadores geomorfológicos y morfodinámicos, ya que es previsible que el HAT, que correspondería a la línea de ribera “más baja” predecible, no refleje las condiciones reales ocurridas en cualquier período que, según se ha expresado, alcanzarían niveles del agua mayores.

Se recomienda que al momento de la delimitación de la línea de ribera, se proceda a reconocer también este límite en las propiedades lindantes al predio en estudio. El sentido de esta definición se basa en obtener una línea de ribera continua local o regionalmente, evitando interrupciones abruptas entre parcelas contiguas. A partir del límite establecido (línea de ribera) se recomienda determinar una franja continua de uso restringido o de amortiguación, sin construcciones fijas a fin de permitir el intercambio de sedimentos y favorecer la estabilidad del sistema. En tal sentido deberá decidirse por los 150 m reglados por la ley 12257, los 100 m de la ley 8912, o por otro valor, según los procesos dominantes en cada sector. Asimismo, en

áreas ya urbanizadas, este valor carece de sentido, reservándose para sectores aún no afectados por éstas.

A fin de asegurar un adecuado intercambio de sedimentos duna-playa y al mismo tiempo preservar las características del reservorio de agua, las zonas de retiro podrán ser variables en función de los procesos dominantes (e.g. erosión, acreción) y de las necesidades de planificación.



Con respecto al Art. 18 de la Ley 12257 (Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires), en el párrafo: “Se considerará crecida media ordinaria a aquella que surja de promediar los máximos registrados en cada año durante los últimos cinco años”, cabe aclarar que hay una contradicción cuando se refiere a la *crecida media ordinaria* (que es astronómica y predecible) y a los máximos *registrados* (se entiende por mareas reales, registradas en los mareógrafos). Este aspecto merece una aclaración, sin perjuicio de que, adicionalmente, se pueda analizar *un valor máximo alcanzado por las mareas reales (no ordinarias) a lo largo de un período de los últimos diez años, en complementación con los criterios geomorfológicos ya expuestos, en casos de difícil resolución*.

Con respecto al párrafo del mismo artículo: “A falta de registros confiables se determinará conforme a criterios hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y estadísticos evaluados a la luz de una sana y actualizada crítica”, la mayor parte de esos criterios están considerados en el presente informe.

En cuanto al Artículo 142º de la misma Ley (Costa atlántica): “Prohíbese el loteo y la edificación en una franja de ciento cincuenta (150) metros aledaña al Océano Atlántico y la edificación sobre los médanos y cadenas de médanos que lleguen hasta el mar aún a mayor distancia”. Este artículo es excesivamente restrictivo al disponer una prohibición sobre los “médanos o cadenas de médanos que lleguen hasta el mar aún a mayor distancia”. En este sentido, existiría una inhibición en toda superficie donde existan médanos, con lo que otras disposiciones (Decreto/Ley 8912; Ordenanzas Municipales, etc.) quedarían en conflicto, sin dejar de considerar derechos adquiridos en terrenos privados y fiscales. Habría que considerar la restricción de uso en una franja cercana a la costa, y en el resto de las superficies, en particular áreas de médanos, aplicar normas de regulación de uso. Estas normas tendrían como objetivo preservar el recurso hídrico subterráneo explotable existente en los médanos, tanto en su calidad como en su cantidad. Densidades bajas y plantas de tratamiento de residuos cloacales constituirían condiciones apropiadas para su preservación.

En cuanto al Decreto 3202 (29/11/2006), que regula los proyectos urbanísticos en la franja marítima bonaerense, entre Punta Rasa y Punta Alta, a los fines de su aplicación se

sugiere una adecuación a los fundamentos geomorfológicos planteados en el presente estudio.

Se recomienda que las superficies generadas por acreción sedimentaria, ya sea naturalmente o producida directa o indirectamente a través de la ejecución de obras ingenieriles, no sean afectadas por construcciones estables, dada la situación transitoria en que se pueden encontrar, quedando afectadas exclusivamente al dominio público.

Cabe señalar que un adecuado manejo de procedimientos no específicos, aunque influyentes en la posición de la línea de ribera, deberá incluir monitoreos sistemáticos de la evolución morfológica de los sectores litorales, a fin de establecer su variabilidad y establecer pautas de control y manejo. Al mismo tiempo, será importante determinar y mapear zonas de riesgo y fijar, a partir de la línea de ribera, zonas de retiro o resguardo, según lo indiquen las características de cada zona.

En síntesis, se recomienda la aplicación de los criterios geomorfológicos y morfodinámicos expuestos en el presente trabajo para la delimitación de la línea de ribera. En todo caso, se enfatiza la necesidad de replantear la línea de ribera en forma periódica, según los procesos dominantes, que pueden variar según las zonas.

En esta línea, podrán aplicarse distintos procedimientos que pueden consistir en relevamientos de campo apoyados con GPS, fotografías aéreas y otras herramientas de percepción remota.

## **6. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES**

El área de trabajo presenta una gran variabilidad de rasgos morfológicos que reflejan lo variable en la intensidad de los procesos actuantes y que condicionan en gran medida la posición de la línea de ribera. En función de esto se la ha dividido en diferentes sectores: Bahía Samborombón, Barrera medanosa oriental, zona de acantilados y Barrera medanosa Austral.

La zona costera de la *Bahía Samborombón* muestra un resalto que claramente representa el accionar de las olas en periodos de marea alta, aunque también se observan marcas de resaca por encima de este rasgo, reflejando la posición del agua en mareas extraordinarias y/o tormentas. Este resalto, que recorre el borde de la bahía, reflejaría la posición de la línea de ribera, aunque debe remarcar que hacia el continente queda un amplio espacio ocupado por áreas anegadas y fácilmente inundables las que deberían tener una limitación a determinados usos, dados fundamentalmente por la extrema fragilidad que presentan.

En las playas de la *barrera medanosa oriental*, muchas de éstas presentan una amplitud notable (superior a los 150 m) y en los sectores naturales, la berma es el rasgo geomorfológico generado por las pleamares ordinarias o normales. La berma, como en toda playa, es un rasgo transitorio, sujeto a cambios permanentes. Tanto en la barrera oriental como en la *austral*, puede desarrollarse una segunda forma cuspidal, “berma de tormenta”, sobre la playa distal. Por consideraciones anteriores, se recomienda ubicar la línea de ribera en la cresta del primer cuerpo medanoso, ya que como se ha observado, su base también puede estar sujeta a procesos de erosión.

En playas angostas, en general sometidas a importantes procesos erosivos, prácticamente la

playa está representada por el sector frontal (es ocupada normalmente por las pleamares normales), ubicándose la línea de ribera en el médano contiguo o en microacantilados labrados en ellos o en otros sedimentos y/o materiales de relleno.

En zonas de *acantilados*, rasgo típico de erosión marina, se ubica la línea de ribera en el borde superior. Cuando éste es vertical coincide con la base, pero en muchas oportunidades este rasgo erosivo no es vertical o no es continuo, lo que lleva a considerar el borde superior y no el inferior. Cuando estas zonas presenten importantes procesos erosivos que llevan a retrocesos mayores que otras áreas, deberá evaluarse la posibilidad de introducir mayores distancias de resguardo o zonas de retiro.

Se recomienda plantear la posibilidad de proponer cambios en el Código Civil según los criterios aquí expuestos, a fin de evitar interpretaciones confusas para la determinación de la línea de ribera marítima.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Aliotta, S., Schnack, E.J., Ginsberg, S.S., Spagnuolo, J., Lizasoain, G., Giagante, D. y Vecchi, L., 2007. Morfología y sísmica marina entre Punta Rasa y Villa Gesell: disponibilidad de arena para la recuperación de playas. VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Mar del Plata 12-14 de diciembre de 2007. Actas de Resúmenes, 109.
- Bértola, G., 2001. Erosión costera: análisis de riesgos y su relación con la génesis de depósitos minerales. Cap. del Sector Argentino de Clasificación Textural de las Playas, Refracción de Olas y Playas relevadas. Programme on Ocean Sciences in Relation to Non-Living Resources-OSNLO/COI/UNESCO, soporte en CD.
- Bértola, G. y Cortizo, L., 2005. Transporte de arena en medanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 60(1):174-184.
- Bértola, G., 1995. Geomorfología y sedimentología de los ambientes mareales de la Bahía Samborombón, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata. 150 pp.
- Bértola, G., 2006. Morfodinámica de playas del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (1983 a 2004). Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis Vol.13 (1):31-57.
- Bértola, G., Isla, F., Cortizo, L., Turno, H. y Farenga M., 2002. Modelo Sedimentario de la Barrera Medanosa al Norte de Villa Gesell (Provincia de Buenos Aires), de aplicación Hidrogeológica. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología Vol.9(2):109-126
- Bértola, G., Massone, H. y Osterrieth, M., 1991. Estudio geológico integral de Punta Rasa, Cabo San Antonio, Buenos Aires. Informe CIC. 30 pp.
- Bianchi, A., Bianuchi, L., Piola, A., Ruiz Pino, D., Schloss, I., Poisson, A. & Balestrini, C. 2005. Vertical stratification and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonian shelf, Journal of Geophysical Research., 110, C07003, doi: 10.1029/2004JC002488.
- Boak, E.H. and Turner, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, 21(4), 688-703.
- Boschi, E., 1988. El ecosistema estuarial del Río de La Plata (Argentina y Uruguay). Anales Institucionales de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de Méjico 15(2):159-182.
- Cavallotto, J., 1989. Descripción e interpretación morfológica del Río de La Plata. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. Resúmenes expandidos CADINQUA:68-71.
- CERC, 1984. Wave and water level prediction. In Shore Protection Manual, vol. 1. US Army Coastal Engineering Research Center.
- CERC, 2010. Meteorology and wave climate. In Coastal Engineering Manual, Part 2, EM-1110-2-1100. US Army Coastal Engineering Research Center.
- COBA, 1993. Relevamientos y estudios de dinámica costera en Atalaya, Punta Indio y Punta Piedras, Pcia. de Buenos Aires. Resultados Preliminares (1987-1992), ITBA, COBA, Nro. 1, 47 pp.
- Codignotto, J. & Aguirre, M., 1993. Coastal evolution, changes in sea level and molluscan fauna in northeastern Argentina during the Late Quaternary. Marine Geology 110:163-175.
- Codignotto, J. y Kokot, R., 2005. Geomorfología del Sector Litoral de la Provincia de Buenos Aires. Actas XVI Congreso Geológico Argentino, Artículo N° 214, 8p., en Actas (3): 643-650. La Plata
- Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1990. Evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costera atlántica bonaerense. Region I: Punta Rasa-Punta Médanos. 300 pp.
- Cooper, A., 1974. Salt marshes. Coastal Ecological Systems of the United States. Odum, Copeland & McMahan (ed) Vol. II:55-99.

- Cortelezzi, C.R., Colado, U.R., Mouzo, F.H., Robbiano, J.A. y E.J. Schnack, 1972. Estudio de las variaciones morfológicas y sedimentológicas en el litoral atlántico de la Provincia de Buenos Aires entre San Clemente del Tuyú y Miramar. V Congr. Geol. Arg.: 341-345.
- D'Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E., Pousa, J.L., 2008. Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research* 24 (1A), 260–265.
- Davies, J., 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphology* 8:127-142.
- Dragani W. C., Caviglia, F. J., Mazio, C. A., Pousa, J. L. y Speroni, J. O., 1995. Estudio de corrientes generadas por olas en playas del Partido de la Costa (Pcia. de Buenos Aires). Servicio de Hidrografía Naval, Dep. Oceanografía, Inf. Técnico N° 91/95, 26 pp.
- Dragani, W. C., Mazio, C. A. y Nuñez, M. N., 2002. Sea level oscillations in coastal waters of the Buenos Aires Province, Argentina. *Continental Shelf Research*, (22), 779-790.
- Dragani W. C., E. E. D'Onofrio, W. Grismeyer and M. E. Fiore, 2006. Tide gauge observations of the Indian Ocean tsunami, December 26, 2004, at the Buenos Aires coastal waters, Argentina. *Continental Shelf Research*, 26, 1543-1550.
- Dragani, W., D'Onofrio, E., Grismeyer, W., Fiore, M. and Campos, M. I., 2009. Atmospherically-induced water oscillations detected in the Port of Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth* 34 998–1008.
- Dragani, W. C., Martín, P., Campos, M. I. and Simionato, C., 2010. Are wind wave heights increasing in south-eastern south American continental shelf between 32S and 40S? *Continental Shelf Research*, doi:10.1016/j.csr.2010.01.002
- Evans, G., 1965. Intertidal flat sediments and their environments of deposition in the Wash. *Quaternary Journal of Geological Society of London*. Vol. 121(2):209-245.
- Fiore, M.E., D'Onofrio, E.E., Pousa, J.L., Schnack, E.J and Bértola, G.R., 2009. Evolution of the positive storm surge and erosion potential at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research* 29, 1643-1649.
- Frenguelli, J., 1950. Rasgos generales de la Morfología y de la Geología de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas de Bs. As. Laboratorio de Ensayo de Materiales, Serie II N°30. 72 pp.
- Frey, R. y Basan, P., 1985. Coastal salt marshes. *Coastal Sedimentary Environments*. R. A Davis (ed). Springer-Verlag 2nd. Expanded edition: 225-301.
- Gagliardini, D., Karszenbaum, H., Legeckis, R. & Klemas, V., 1984. Application of LANDSAT MSS, NOAA/TIROS and NIMBUS CZCS to study La Plata River and its interaction with the ocean. *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Science Publishing Company, New York. 30 pp.
- Gianibelli, J., Cabassi, I., Suarez, E., Barrio, L., Weisz, S., Petcoff, L., Cingolani, C., Sidoti, O. y Ríos, F., 1989. La anomalía del borde NE de la cuenca del Salado: Transecta III. *Actas de la Reunión de Geotransectas de América del Sur*:112-118.
- Guerrero, R., Martos, P. y Lasta, C., 1989. Observación directa de corrientes, vientos y mareas en Bahía Samborombón, modelo de circulación. *Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar*,
- Hicks, S., 1972. On the classification and trends of long period sea level series. *Shore and Beach* 40(1):20-23.
- Introcaso, A. y Gerster, R., 1985. Análisis de la evolución de las cuencas sedimentarias del Salado y Colorado en Argentina. *Revista de Geofísica* 41:3-22.
- International Panel on Climate change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 967 pp.
- Isla, F., Cortizo, L. y Schnack, E., 1998. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires, Argentina. *Quaternary Sciences Reviews* 15:833-841.
- Isla, F.I., 2002. Evolución geológica de la zona costera de Buenos Aires. En Martins, L.R., Toldo, E.E. y Dillenburg, S.R., 2002. *Erosao costeira: causas, analise do risco e sua relacao com a gênese de depósitos minerais*. OEA, CNPq, Porto Alegre, 10 pp., formato CD.
- Isla, F.I. y Bértola, G.R., 2005. "Litoral Bonaerense". *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. De Barrio, R., Echeverri, R., Caballé, M. y Llambías, E. (eds.). *Velatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, Cap.: 265-276.

- Isla, F., Bértola, G., Cortizo L. y Ferrante, A., 2005. Disponibilidad de arena para alimentar las playas del Centro de Villa Gesell. Informe inédito del Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Univ. Nacional de Mar del Plata. 13 pp.
- Isla, F.I. and Schnack, E.J., 2010. The changing coastlines of South America. In: E. Latruesse (ed.). *Geomorphology of Natural and Human-Induced Disasters in South America, Developments in Earth Surface Processes, Special volumes of Geomorphology*, Elsevier, Amsterdam. Ch. 3, 49-73.
- Lanfredi, N., 1986. Condiciones hidrodinámicas del Río de La Plata, en función de los conocimientos actuales. Informes Inéditos del Servicio de Hidrografía Naval. 46 pp.
- Marcolini, S., Parker, G., Violante, R. y Cavallotto, J., 1992. Estructuras sedimentarias actuales de la plataforma interior y media del NE de la Prov. de Bs. As. Cuarta Reunión Arg. de Sedimentología, La Plata octubre 1992 Tomo III:1-8.
- Masselink, G. and Hughes, M.G., 2003. *Introduction to Coastal Processes and Morphology*. Arnold, London, 353 pp.
- Morton, R.A. and Speed, F.M., 1998. Evaluation of shorelines and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal research*, 14(4), 1373-1384.
- Nagy, G., López Laborde, J. y Anastasia, L., 1987. Caracterización de ambientes del Río de La Plata exterior (salinidad y turbiedad). *Investigaciones Oceanológicas* 1(1):31-56.
- Ottmann, F. y Urien, C., 1965. Le melange des eaux douces marines dans le Río de La Plata. *Cahiers Oceanographiques* XVII (10). 45 pp.
- Ottmann, F. y Urien, C., 1966. Sur quelques problemes sedimentologiques dans le Río de La Plata. *Reviste d' Geographie, Physique et Geologie Dynamique*. Vol.VIII (3):209- 224.
- Otvos, E. y Prince, W., 1979. Problems of cheniers genesis and terminology - An overview. *Marine Geology* 31(3/4):251-263.
- Parker, G. y Marcolini, S., 1987. Dispersión y transporte de sedimentos en el Río de La Plata. SIHN Informe Técnico N°65 /91. 25 pp.
- Parker, G. y Violante, R.A., 1989. *Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa – Faro Querandí*. Provincia de Buenos Aires. Convenio Consejo Federal de Inversiones y Servicio de Hidrografía Naval, Informe final, 110 pp.
- Parker, G., Paterlini, C.M., Violante, R.A., Pastor Costa, I., Marcolini, S. y Cavallotto, J., 1999. Descripción Geológica de la Terraza Rioplatense (Plataforma interior nor-bonaerense). SEGEMAR, Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín N° 273, Buenos Aires.
- Pousa, J.L., Kruse, E., Guaraglia, D., Mazzoldi, A., Carbognin, L., Tosi, L., Bonardi, M., Rizzetto, F. and Schnack, E.J., 2007. Geological Hazards in two sandy environments: the eastern coast of Buenos Aires (Argentina) and Vence (Italy). *Environmental Geology*, 51(8), 1307-1316.
- Pugh, D.T., 1987. *Tides, Surges and Mean Sea Level: a handbook for engineers and scientists*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 472.
- Rolleri, E., 1975. Provincias Geológicas Bonaerenses. Relatorio VI Congreso Geológico Argentino, Bs. As.:29-54.
- Scalise et al., 2007. Estudio para la recuperación y manejo de playas del Litoral Atlántico Oriental Bonaerense. Consejo Federal de Inversiones y CIC. 355 pp.
- Schnack, E.J., 1985. Argentina (capítulo). In: *The World's Coastlines*. E. Bird & M. Schwartz, Eds. Van Nostrand-Reinhold Co., N.Y.: 69-78.
- Schnack, E.J., 1993. The vulnerability of the east coast of South America to sea level rise and possible adjustment strategies. In: *Climate and Sea Level Changes: Observations, Projections and Implications*, R.A. Warrick, E.M. Barrow & M.L. Wigley, Eds. Cambridge Univ. Press: 336-348.
- Schnack, E.J., Pousa, J.L. and F.I. Isla, 1998. Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. In: Christoph Preu (Ed.), *Aktuelle Beiträge zur interdisziplinären Meeres- und Küstenforschung. Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, Band 20: 133-136.
- Schnack, E.J. & O'Neill, M., 2001. Erosión y acreción costera en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires. Informe técnico, Proyecto OEA/CIDI, 5 pp., 4 figs.

- Schnack, E.J., Isla, F.I., Scalise, A.H., Fucks, E.E. y Bértola, G.R., 2007 (a). Evaluación de áreas de préstamo y su compatibilidad para el relleno de playas en el litoral atlántico oriental bonaerense. VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Mar del Plata 12-14 de diciembre de 2007. Resúmenes, 110.
- Schnack, E.J., Fucks, E.E., D'Onofrio, E. y Baldelló, G. (redactores), 2007 (b). Criterios geomorfológicos para la determinación de la línea de ribera en el litoral atlántico bonaerense". CIC–Autoridad del Agua Prov. de Buenos Aires, 32 pp.
- Schnack, E.J. y Piola, A., 2008. Impacto del cambio climático en la costa y el mar argentino. En: O. Solbrig y J. Adámoli (eds.), Impacto del Cambio Climático en la Cadena Agroindustrial Argentina, Online. Foro de la Cadena Agroindustrial, [www.foroagroindustrial.org.ar](http://www.foroagroindustrial.org.ar)
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN), 1975. Sedimentología de la Plataforma Continental Argentina. Parámetros estadísticos. Serie Marina y Oceanográfica H-669/2. 35 pp.
- Servicio de Hidrografía Naval (SHN), 1988 a 1993. Tablas de marea de la República Argentina. Puertos de Argentina y algunos puertos de Brasil, Uruguay y Chile. Publicación SIHN H-610. 400 pp.
- Simionato, C., Dragani, W. C., Nuñez, M. N. y Engel, M., 2004. A set of 3-d nested models for tidal propagation from the Argentinean Continental Shelf to Río de la Plata Estuary, Journal of Coastal Research, (20) 3, 893-912.
- Spalletti, L. y Mazzoni M., 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1):12-30.
- Teruggi, M., 1959. Las arenas de la costa de la Provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca. Revista del LEMIT 2(77):1-37.
- Tricart, J., 1968. La Geomorfología de La Pampa Deprimida como base para los estudios edafológicos y agronómicos. INTA. Colección Científica Vol. XXII. 202 pp.
- Urien, C. y Ottmann, F., 1971. Histoire du Río de La Plata au Quaternaire. Quaternaria 14:51-59.
- Violante, R. y Parker, G., 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior–Holoceno en la llanura costera al sur de Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 47, 2, 215-228.
- Warrick, R.A. (1992). Climate and Sea Level Change: Observations, Projections and Implications (IOVERVIEW). Warrick, R.A., Barrow, E.M. and Wigley, T.M.L. Cambridge University Press, 3-21.



## GLOSARIO

**Abrasión:** Proceso de desgaste de las rocas por la acción combinada del agua con su carga de sedimentos.

**Acantilado:** Rasgo del paisaje con paredes verticales o casi verticales que se encuentra sujeto a la acción de la abrasión marina. Puede presentar sectores en voladizo y en función de la litología constitutiva, estar en mayor o en menor medida en retroceso, representando claramente una costa erosiva.

**Acreción (=acumulación, agradación):** Proceso por el cual las partículas clásticas se concentran por la acción de las olas y corrientes costeras y se depositan en la interfase agua-tierra. Este proceso puede ser natural o artificial y en este último caso directo (relleno) o indirecto (interferencia de rompeolas, muelles, espigones, etc).

**Barrera:** Sistema litoral integrado por extensiones medanosas y playas, en casos separadas de la parte continental por lagunas costeras o bahías.

**Berma:** Sector subhorizontal de la playa originado por un depósito de materiales clásticos producto de la acción de las olas en ciclos mareales ordinarios (límite entre playa distal y frontal) o por tormentas (berma de tormenta).

**Corrientes litorales:** Corrientes originadas por la incidencia oblicua de las olas, que se propagan paralelamente a la costa. Actúan en la zona comprendida entre la orilla y la línea de rompiente, provocando el transporte litoral del sedimento (deriva litoral).

**Cuadratura:** Posición del ciclo de las fases cuando los dos cuerpos principales que producen las mareas (la Luna y el Sol) están prácticamente en ángulos rectos con la Tierra. Por lo tanto la Luna está en cuadratura en cuarto creciente y cuarto menguante.

**Deriva litoral:** Transporte de sedimentos paralelo a la playa, por la acción de olas y corrientes, entre la rompiente y la orilla. Se mide en m<sup>3</sup>/año. La deriva litoral “neta” es la diferencia entre dos sentidos opuestos. En nuestra costa, es la diferencia entre el transporte hacia el norte y hacia el sur.

**Duna (= médano):** Acumulación de arena por acción del viento, conformado montículos de diferentes morfologías. Estas acumulaciones aledañas a la playa constituyen los sectores que interactúan permanentemente entre estos dos ambientes (eólico y litoral).

**Erosión costera:** Proceso de pérdida de acumulaciones de playa o destrucción de acantilados, o de ambos, fundamentalmente por la acción de las olas, tormentas y las actividades humanas. Pueden darse variaciones estacionales o permanentes en el tiempo.

**Espaldón:** Constituye un cambio abrupto de pendiente al pie de la cadena de médanos frontales y se lo relaciona con la acción del oleaje durante los máximos alcanzados por el mar.

**HAT** (Highest Astronomical Tide=Marea astronómica más alta): La marea más alta que puede ocurrir en condiciones meteorológicas normales y en cualquier condición astronómica. Se obtiene al realizar una predicción de la marea astronómica en un período de 19 años.

**Holoceno**: Epoca más reciente de la historia geológica correspondiente al período Cuaternario. Comprende los últimos 10.000 años.

**HRAT**: resulta de determinar la mayor diferencia entre una pleamar y la bajamar consecutiva durante un período de predicción de 19 años

**Laguna costera (albufera)**: cuerpo de agua de tipo estuarial, generalmente elongado, separado del mar por una barrera arenosa, y conectado por una o más bocas de marea.

**LAT** (Lowest astronomical tide=Marea astronómica más baja): La marea más baja que puede ocurrir en condiciones meteorológicas normales y en cualquier condición astronómica. Se obtiene al realizar una predicción de la marea astronómica en un período de 19 años.

**Marea de cuadratura**: Marea de amplitud mínima que ocurre cada dos semanas aproximadamente cuando la Luna está en cuadratura.

**Marea de sicigias**: marea de máxima amplitud que ocurre cada dos semanas en coincidencia con la Luna Nueva (conjunción) o Llena (oposición).

**Marea de tormenta**: Suma de la marea astronómica y la onda de tormenta.

**Nivel medio de las pleamares más altas (MHHW)**: La altura promedio de todas las pleamares más altas diarias registradas en un período de 19 años (ver Precesión).

**Nivel medio del mar**: Media aritmética de las alturas de marea observadas en un lugar, en forma continua, separadas por el mismo intervalo de tiempo y durante un período adecuado (e.g. registros continuos de 19 años de alturas de marea horarias).

**Ola**: Movimiento ondulatorio del agua producido por la tensión del viento.

**Onda de tormenta**: Una elevación y apilamiento de las aguas sobre el nivel normal, resultante de la tensión del viento y la reducción de la presión atmosférica. Sus consecuencias sobre los sistemas costeros pueden ser más severas cuando se manifiestan en las pleamares.

**Plataforma de abrasión (= restinga)**: Rasgo de erosión con suave pendiente hacia el mar, constituida por roca de base, que se extiende desde la base del acantilado hacia la zona de rompiente.

**Playa**: Acumulación transitoria de arena o grava que se extiende entre el pie del médano frontal o del acantilado y la zona submarina, en la que predomina la acción de las olas y de las corrientes generadas por ellas.

**Playa distal**: Parte superior de la playa sujeta habitualmente a la exposición subaérea y sólo alcanzada por el mar en pleamares de sicigias y de tormentas. El contacto con el continente se manifiesta por el desarrollo de vegetación o a través de rasgos como

acantilados o médanos. Este contacto se denomina espaldón y puede ubicarse al pie de médano o del acantilado. El límite hacia el mar se manifiesta a través del berma.

**Playa frontal:** Se extiende entre el berma y la zona de rompiente. Esta Compuesta por dos subzonas: la intermareal, cubierta y descubierta Alternativamente por las mareas y la submareal o interior, siempre sujeta a la acción del oleaje y las corrientes litorales. La playa frontal es la zona de mayor dinámica ya que está sujeta a la acción de la rompiente y de corrientes de alta capacidad de transporte sedimentario.

**Playa submarina:** se ubica mas allá de la rompiente hasta la profundidad en que todavía se producen efectos de ola sobre el fondo y que podría situarse entre los -7/ – 10 m.

**Precesión** (de la órbita lunar): Rotación del plano de la órbita lunar con un período de aproximadamente 19 años.

**Rompiente:** Proceso físico que sucede cuando las olas alcanzan la playa y entran en aguas cuya profundidad es aproximadamente igual a la altura de la ola. Bajo estas condiciones, la cresta se empina y se vuelca hacia adelante, o bien se desintegra en burbujas y espuma.

**Runup:** Avance o embestida del agua sobre la pendiente de la playa después de la rompiente, alcanzando un nivel vertical superior al del nivel del mar de ese instante.

**Sobrelavado (overwash).** Flujo hidráulico que atraviesa una línea de dunas o un berma de tormenta, usualmente durante tormentas.

**Sudestada:** Nombre dado a una tormenta extratropical en el Atlántico sudoccidental.

**Sicigia:** Los dos puntos de la órbita lunar cuando la Luna está en conjunción u oposición al Sol en relación con la Tierra.

**Tormentas extratropicales:** Tormentas generadas en latitudes medias y altas, entre 25° y 60°, que cubren regiones mucho mayores que las tormentas tropicales, en el orden de cientos de km, en torno a un centro de baja presión no tan definido como en las tropicales y con un desplazamiento más lento. Son típicas del Mar del Norte, la costa NE de Estados Unidos y Canadá y el Atlántico sudoccidental.