



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS



Tesis para optar al Título de
Magíster en Ciencias Ambientales

**DINÁMICA SEDIMENTARIA
EN LA COSTA URUGUAYA:
EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS DE PLAYAS
URBANAS EN EL MARCO DEL
CAMBIO GLOBAL**

Autor: Ofelia Gutiérrez

Tutor: Prof. Daniel Panario

Tribunal: Dr. Gustavo Nagy

Dr. Augusto Pérez Alberti

Dr. Marcel Achkar

Montevideo, Uruguay

2010

AGRADECIMIENTOS

En especial a Daniel Panario mi tutor y a Gustavo Piñeiro con quienes compartimos la investigación de las playas de Montevideo. A Gustavo además por haber colaborado con los insumos geológicos y con los modelos de transporte de arena de su tesis. Y a Daniel por haberme puesto siempre un nuevo desafío delante y orientar el desarrollo de mis hipótesis, y además estimularme permanentemente.

A Mario Bidegain por indicarme los pasos para trabajar con los modelos climáticos.

Al Servicio de Geomática de la Intendencia Municipal de Montevideo, en especial a Carlos Martínez, Néstor Cestau, y demás funcionarios, y a Fabián Barbato (que fuera su anterior Director), por haberme abierto el archivo de fotos aéreas, los datos que permitieron su reconstrucción, y brindarme las coberturas del SIG de Montevideo.

A la Dirección de Gestión Ambiental de la IMM, en especial a Néstor Campal, Carlos Mikolic y Leonardo Puei, por la oportunidad de trabajar en las playas urbanas.

A la Dirección de Gestión Ambiental de la Intendencia Municipal de Canelones (año 2005), en especial a Gonzalo Fernández y Gerardo Vanerio, con quienes se inició la experiencia de restauración de la desembocadura del Arroyo Pando.

A Adriana Dardanelli por la búsqueda de material histórico sobre Pocitos.

A todos los que me proporcionaron materiales y de una u otra manera han colaborado a la conclusión de esta tesis, en especial a Daniel Collazo, Mario Batallés, Carlos Barboza, Rodrigo Menafrá, Loïc Menanteau, Gustavo Nagy, Andrés Quintans y Antonio Ruik.

A los funcionarios del Servicio Geográfico Militar, y de su Mapoteca, y a los funcionarios del Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea.

A mi familia que de forma tan linda ha ido creciendo a lo largo de los años, y a mis amigos del alma, con quienes cuento siempre.

A todos mis compañeros de UNCIEP, por estar... y por ser.

Y por último, pero no menos importante, a los miembros del Tribunal: Gustavo Nagy, Augusto Pérez Alberti y Marcel Achkar, en particular a Nagy, cuyos comentarios contribuyeron sustancialmente a mejorar la versión final.

Esta tesis tuvo financiación parcial a través de:

- Beca de apoyo de la Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias (2004).
- Proyecto: *Propuesta técnica para la conservación recuperación de la playa del Buceo y playas certificadas de Montevideo*. Convenio UNCIEP (Unidad de Ciencias de la Epigénesis), Facultad de Ciencias y Departamento de Desarrollo Ambiental, Intendencia Municipal de Montevideo (2007-2008).
- Programa de becas de apoyo para la finalización de estudios de posgrado, Comisión Académica de Posgrado, UdelaR (2008-2009).

In memoriam:

De la tarjeta RAM de mi PC que desapareció en cumplimiento de su deber en la IMM mientras ambas procedíamos al relevamiento de los archivos.

Del disco duro que murió llevándose consigo los datos primarios originales de esta tesis, denunciando por este medio al ignominioso virus que lo asesino.

RESUMEN

Durante el siglo pasado se realizaron numerosas acciones sobre el litoral costero uruguayo que modificaron su dinámica, en particular los procesos de extracción de áridos, forestación y urbanización, que afectaron a las playas y los sistemas dunares costeros, en este caso reteniendo una cantidad significativa de la arena en circulación; en paralelo, las playas comenzaron a evidenciar procesos de erosión y retroceso de la posición de la línea de costa.

La presente tesis realiza una visión retrospectiva evaluándose los impactos que han tenido sobre la dinámica sedimentaria costera, las intervenciones realizadas sobre las playas. Para ello se realizó para algunas desembocaduras y sus sectores de arcos de playa contiguos, así como para algunas playas urbanizadas desde larga data, un diagnóstico de evolución, estado y tendencia, mediante la realización de un análisis multitemporal, utilizando sensores remotos, técnicas de SIG y revisión de antecedentes históricos. Se seleccionó una muestra representativa de arcos de playa urbanos, Ramírez, Pocitos, Buceo, Malvín y la playa Brava de Malvín, por tener diferencias entre sí, en tamaño, orientación, deriva, fuente de sedimentos, gradiente de profundidad, e historia previa, para analizar su respuesta frente a forzantes del cambio climático.

También se seleccionaron dos desembocaduras, las de los arroyos Pando y Carrasco vinculados ambos a otras playas urbanas, la primera con importantes aportes de sistemas dunares (interrumpidos por forestación), y se procedió a analizar la contribución de los sistemas dunares en la estabilidad de la línea de costa y las repercusiones de las intervenciones vinculadas a los procesos de urbanización. Por otra parte, se puso a prueba la pertinencia del método de análisis multitemporal cartográfico¹ para playas cuyas fluctuaciones, tienden a enmascarar las tendencias de largo plazo. Se exploraron distintos registros *proxy* de indicadores de línea de costa, llegándose a la conclusión de la importancia del uso de más de un *proxy* para poder interpretar las respuestas del sistema. Se analizaron las correlaciones con variables climáticas (precipitaciones, regímenes de vientos) y con las crecientes excepcionales de los ríos Paraná y Uruguay. Se exploró la existencia de una correlación positiva entre anomalías en el régimen de vientos y el comportamiento de las playas en estudio. Para ello, fue utilizado el modelo NCEP/NCAR para el reanálisis de los datos de anomalías de vientos, encontrándose correlaciones significativas entre estas y el comportamiento de la línea de costa, sacándose conclusiones prospectivas de su comportamiento a futuro con las actuales tendencias del cambio climático en el Río de la Plata.

Palabras clave: playas arenosas, dinámica litoral, SIG, ciclo de la arena, modelos climáticos, registros *proxy* de línea de costa, playas urbanas, desembocaduras, Cambio Global.

^{1/} Nos referimos a cartográfico en sentido amplio (planos, fotos aéreas, etc.).

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DE LA TEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN	3
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
3. ANTECEDENTES	8
4. OBJETIVOS.....	10
5. HIPÓTESIS.....	10
6. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	11
6.1. REVISIÓN DE ARCHIVOS	11
6.1.1. <i>Archivo de imágenes de Montevideo</i>	12
6.1.2. <i>Archivo de imágenes del Arroyo Pando</i>	12
6.2. SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO	13
6.3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN DEL SIG	16
6.3.1. <i>Geo-referenciación de imágenes de Montevideo</i>	16
6.3.2. <i>Geo-referenciación de imágenes del Arroyo Pando</i>	17
6.4. DIGITALIZACIÓN DE LÍNEAS DE COSTA Y OTROS INDICADORES.....	18
6.4.1. <i>Digitalización de indicadores de playas urbanas de Montevideo</i>	20
6.4.2. <i>Digitalización de las líneas de costa de las desembocaduras</i>	24
6.5. MEDIDAS DE RETROCESO - AVANCE DE LA LÍNEA DE COSTA Y OTROS INDICADORES	24
6.5.1. <i>Playas urbanas de Montevideo</i>	24
6.5.2. <i>Desembocaduras de los Arroyos Pando y Carrasco</i>	25
6.5.3. <i>Construcción de índices de balance (retroceso - avance) de la línea de costa</i>	27
6.6. OTROS PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS	28
6.7. MEDICIÓN DEL APORTE DEL CAMPO DE DUNAS AL ARROYO PANDO	29
6.8. OTRAS ACTIVIDADES.....	29
7. BREVE CARACTERIZACIÓN DE LAS PLAYAS EN ESTUDIO.....	30
7.1. RAMÍREZ.....	31
7.1.1. <i>Composición mineralógica</i>	32
7.2. POCITOS.....	32
7.2.1. <i>Mineralogía</i>	32
7.3. BUCEO.....	33
7.3.1. <i>Mineralogía</i>	34
7.4. MALVÍN Y BRAVA.....	34
7.4.1. <i>Mineralogía</i>	34
7.5. PLAYAS DE LA DESEMBOCADURA DEL ARROYO CARRASCO	35
7.5.1. <i>Mineralogía</i>	35
7.6. PLAYAS DE LA DESEMBOCADURA DEL ARROYO PANDO.....	35
7.6.1. <i>Mineralogía</i>	35

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO	36
8.1. RAMÍREZ	38
8.1.1. <i>Antecedentes históricos</i>	38
8.1.2. <i>Evolución de la superficie de playa Ramírez y su dinámica</i>	42
8.2. POCITOS.....	49
8.2.1. <i>Antecedentes históricos</i>	49
8.2.2. <i>Evolución de la superficie de playa Pocitos y su dinámica</i>	50
8.3. BUCEO.....	57
8.3.1. <i>Antecedentes históricos</i>	57
8.3.2. <i>Evolución de la superficie de playa Buceo y su dinámica</i>	58
8.4. MALVÍN - BRAVA	61
8.4.1. <i>Antecedentes históricos</i>	61
8.4.2. <i>Evolución de la superficie de playa Malvín - Brava y su dinámica</i>	62
8.5. ARROYO PANDO, EL PINAR - NEPTUNIA	69
8.5.1. <i>Antecedentes históricos</i>	69
8.5.2. <i>Evolución reciente de la desembocadura del Arroyo Pando y su dinámica</i>	71
8.5.3. <i>Relaciones entre el sistema fluvial, el sistema dunar y las playas</i>	75
8.6. ARROYO CARRASCO, CARRASCO - SAN JOSÉ DE CARRASCO.....	77
8.6.1. <i>Antecedentes históricos</i>	77
8.6.2. <i>Evolución reciente de la desembocadura del Arroyo Carrasco y su dinámica</i>	78
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL COMPORTAMIENTO CONJUNTO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	80
9.1. CRECIENTES EXTRAORDINARIAS	81
9.2. PRECIPITACIONES EXCEPCIONALES	81
9.3. CRECIENTES EN LA CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA.....	82
9.4. ANOMALÍAS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERAL	82
10. CONCLUSIONES.....	86
10.1. CONCLUSIONES METODOLÓGICAS.....	87
11. A MANERA DE EPÍLOGO	88
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ABREVIATURAS	98

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la población del planeta se concentra en el área costera, desarrollando actividades como residencia, pesca, industrias, terminales de comercio, puertos, actividades agropecuarias y turismo, en el marco de "políticas de desarrollo", que conciben al ambiente como una fuente ilimitada de recursos (De Álava, 1994). Esta interpretación ha llevado a que se alcance un punto tal de transformaciones, que torne difícil evitar la pérdida definitiva de los servicios ambientales de estos ecosistemas. A su vez, muchas de estas inversiones han perdido su valor al no haberse realizado un manejo integrado de los recursos, lo que demuestra que los conceptos de desarrollo actuales no son sustentables, incluso a veces ni siquiera desde el punto de vista económico. La problemática es cada día más compleja, demandando urgentemente una nueva concepción de la interacción humana con un medio que es especialmente frágil, por ser una transición entre los ecosistemas del continente y los marítimos, siendo difícil interpretar la incidencia de cada uno en esa estrecha franja arenosa que denominamos playa, y menos aún la responsabilidad de cada intervención en los procesos observados, en la medida en que los efectos de una intervención pueden observarse mucho tiempo después de producida y estar enmascarados por otras intervenciones e incluso por procesos naturales tendenciales de largo plazo, cuya dinámica es aún poco conocida; o por los efectos del cambio climático.

Esta tesis pretende avanzar en el estudio y conocimiento de las costas arenosas del Uruguay, a partir del análisis de desembocaduras de arroyos y playas urbanas, en algunas de las cuales se habían observado procesos de retroceso costero o disminución del prisma de playa (MTOP/PNUD/UNESCO, 1979; Galzerano *et al.*, 1993; Piñeiro y Panario, 1993; De Alava, 1994; Casciani y Musso, 1995; De Alava y Panario, 1996; Panario y Piñeiro, 1997; Panario, 2000; Gómez Pivel, 2001; Panario y Gutiérrez, 2003, 2006, Panario *et al.*, 2008a, 2008b) a los efectos de tener una primera aproximación de las relaciones causales que determinan las actuales tendencias, así como en la medida de lo posible, establecer relaciones entre los forzantes naturales y las fluctuaciones de la línea de costa, que permitan prever tendencias asociadas al cambio climático. Al mismo tiempo se pretende contribuir a dimensionar una de las componentes del ciclo de la arena (arena aportada por los sistemas dunares activos) a partir de algunas desembocaduras de vías de drenaje con y sin dunas activas en su situación original, aspecto este poco tenido en cuenta en la bibliografía y que sin embargo podría presentar particular relevancia en la costa uruguaya, por ser en estos lugares donde suelen presentarse los campos dunares extensos.

El área de estudio pertenece al Estuario Medio del Río de la Plata, incluyendo playas de la zona Este de del Departamento de Montevideo, hasta la desembocadura del Arroyo Pando en el Departamento de Canelones (Figura 1).

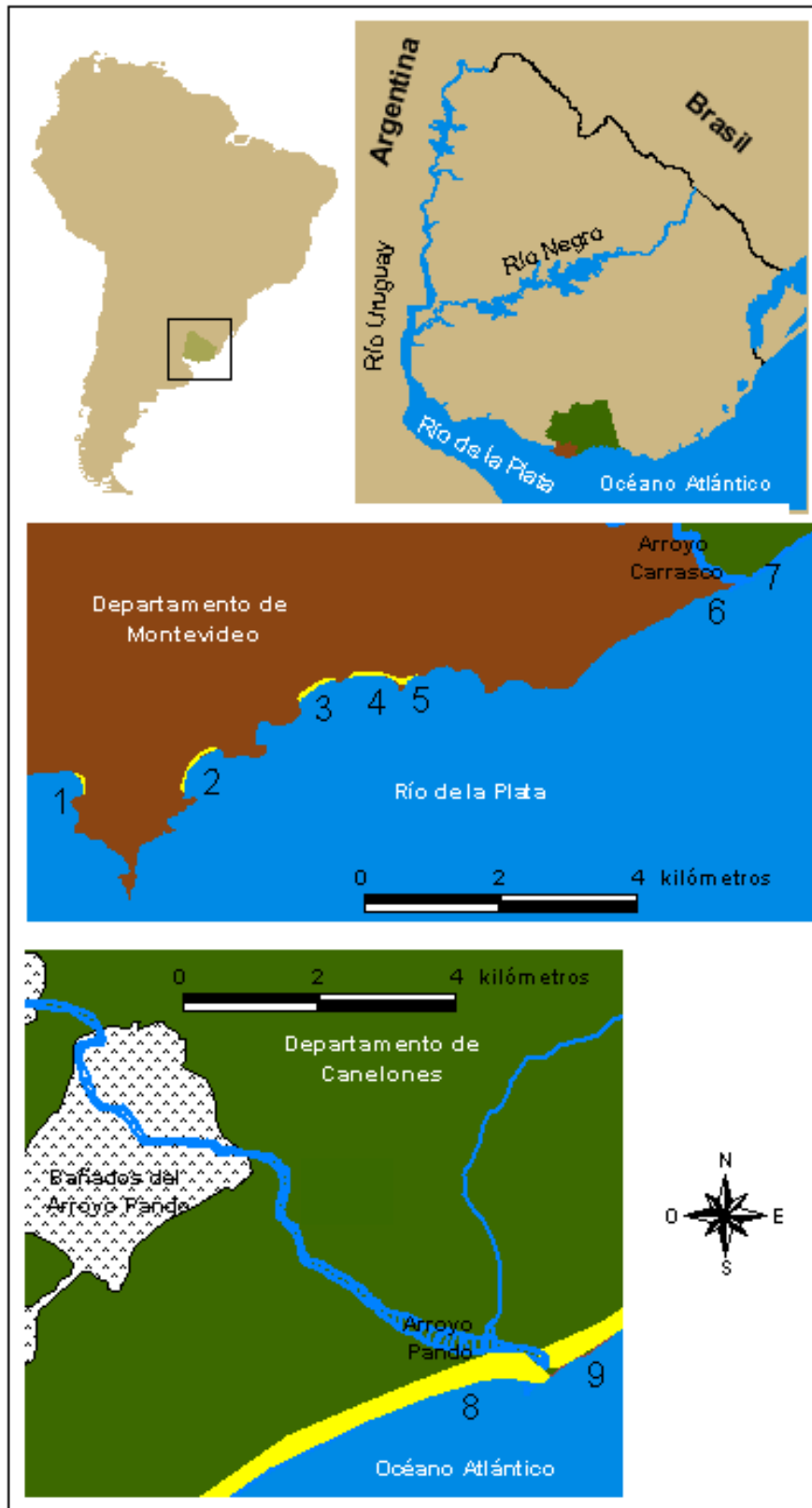


Figura 1. Ubicación del área de estudio:

Arriba izquierda: América del Sur. Arriba derecha: Uruguay. Centro: Playas de Montevideo: 1) Ramírez, 2) Pocitos, 3) Buceo, 4) Malvín, 5) Brava de Malvín, 6) Carrasco, 7) San José de Carrasco. Abajo: Playas del Arroyo Pando: 8) El Pinar, 9) Neptunia.

2. DESCRIPCIÓN DE LA TEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Las playas arenosas, están constituidas del punto de vista ecológico, por dos componentes: un ecosistema marino controlado por la acción de las olas y habitado por una biota marina; y un ecosistema terrestre controlado por la acción del viento, ocupado por una biota terrestre. Ambos sistemas, si bien distintos, interactúan en una única unidad geomórfica llamada "zona litoral activa". Esta zona constituye una interfase entre el océano y el continente, existiendo un estado de equilibrio dinámico en el que los sedimentos son continuamente retransportados (McGwynne y MacLachlan, 1992).

Una definición idealizada del litoral costero puede considerarlo como la interfase física entre la tierra y el agua (Dolan *et al.*, 1980 en Boak & Turner, 2005). A pesar de su evidente simplicidad, esta definición es en la práctica un desafío en su aplicación. En realidad, la posición del litoral cambia continuamente con el tiempo, debido al tránsito de sedimentos en la zona litoral y especialmente debido a cambios del nivel del agua en el límite costero (por ej. mareas, agua subterránea, oleaje, tormentas, aumento del nivel medio del mar, etc.). El litoral se debe por lo tanto considerar en un sentido temporal, y a una escala de tiempo elegida, dependiendo del contexto de la investigación (Boak & Turner, 2005).

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La costa uruguaya es caracterizable como micromareal ², de ambientes dominados por las olas, estando constituidas mayoritariamente por playas arenosas. Se extiende por aproximadamente 700 km (medidos a escala 1:500.000) entre la desembocadura del Río Negro y el límite con Brasil (Panario y Gutiérrez, 2006). En su condición original, esta franja costera estaba asociada mayoritariamente a ambientes de dunas activas o con cobertura de vegetación rala. Sus playas pueden caracterizarse como en "equilibrio dinámico" (*sensu* Short, 1999), dependiendo este de que el ingreso de sedimentos (arena) por distintas vías, sea equivalente al egreso principalmente por deriva litoral (Panario, 1999; Panario y Gutiérrez, 2003, 2005, 2006) a una escala temporal de corto y mediano plazo. La vegetación en la costa uruguaya, juega un rol fundamental en la dinámica de las playas arenosas, positivo en las interacciones de la vegetación natural en la construcción del cordón dunar o duna primaria, o negativo cuando la forestación o la invasión de especies exóticas (ej. garra de león, *acacia longifolia*) interrumpe el flujo normal de sedimentos entre las dunas y las playas o entre las dunas y las desembocaduras de los cursos fluviales (Panario y Gutiérrez, 2005).

^{2/} Se caracterizan como micromareales aquellas costas donde las mareas se encuentran por debajo de los 2 metros, según la clasificación propuesta por Davies (1964).

Desde el punto de vista de la investigación de los sistemas costeros en el Uruguay, ha habido un importante avance en el conocimiento de la dinámica ecológica de estos ambientes (Defeo *et al.*, 1992; Defeo y Brazeiro, 1994; Defeo *et al.*, 1996; Riestra *et al.*, 1996; Brazeiro *et al.*, 1997; Brazeiro y Defeo, 1999; Brazeiro, 2000; Ferrari *et al.*, 2000; Giménez y Yannicelli, 2000; Soutullo *et al.*, 2003; Defeo *et al.*, 2006; Menafra *et al.*, 2006; Carranza *et al.*; 2008; por citar algunas contribuciones). Sin embargo, no se ha cuantificado, y estimado en forma integrada y sistematizada (más allá de esfuerzos puntuales), la degradación ambiental de estos ecosistemas y la pérdida irreversible de elementos únicos o singulares: los campos dunares costeros y sus ecosistemas asociados (monte psamófilo, humedales, pajonales, marismas, entre otros); la modificación de la dinámica existente por forestación con árboles exóticos, la extracción generalizada de arena, y la posterior urbanización. Tampoco se ha analizado la descaracterización que ha sufrido su valor paisajístico, ni se ha estimado la pérdida de territorio continental por retroceso de la ribera. En el caso de la costa uruguaya, existen amplios sectores en los cuales se ha perdido la vegetación nativa necesaria, y otros donde la forestación con especies exóticas ha interrumpido el tránsito de arena provocando un continuo retroceso de la línea de costa o disminución del tránsito de arena, que a su vez, debido a las anteriores acciones, ha conducido al estrechamiento de la franja costera y dañado estructuras asociadas. Además, debe tenerse en cuenta la calidad de vida de la población allí instalada, y la pérdida de elementos culturales (entre otros, sitios arqueológicos), y económica en general, porque la infraestructura que se destruye por efecto del retroceso de la línea de costa, o la infraestructura que se construye como “defensa”, deben ser considerados como un gasto que suele correr a cuenta de la sociedad en su conjunto y sus consecuencias redundan en desvalorización del patrimonio natural.

La separación de factores naturales y antrópicos en dinámica costera es muy difícil debido a que la misma está sujeta a fluctuaciones periódicas que van desde ciclos diarios o estacionales, a fluctuaciones decadales o centenarias, a las que se le deben agregar movimientos aperiódicos, fruto de variaciones climáticas, de corrientes marinas, de reserva de sedimentos subacuáticos, etc., cuyos orígenes pueden ser pretéritos y desencadenarse en determinado momento por efectos inerciales, o de agotamiento de *stocks* en el caso de la disponibilidad de sedimentos (Panario, 2000). En efecto, el balance sedimentario en la costa uruguaya depende en gran medida de la deriva litoral y esta a su vez del balance de vientos de direcciones opuestas cuya prevalencia se altera con el tiempo, más la acción del *swell* que puede *a priori* considerarse relativamente constante.

En la actualidad según Bidegain *et al.* (2005) la componente de vientos fuertes del sector S y SW ha disminuido, en tanto puede suponerse, y la documentación histórica lo confirma, que con anterioridad al siglo XIX, su frecuencia podría ser mayor. Así, Politis basado en trabajos de numerosos autores (1984) sostiene que durante el siglo XVIII

para la región pampeana ocurrió una variación climática denominada “Pequeña Edad del Hielo”, y como consecuencia de ella un aumento de la aridización, mientras que desde comienzos del siglo XIX y hasta la actualidad se registra un incremento de las precipitaciones medias anuales. Por tanto, puede deducirse que en ese período más frío y seco que el actual, había una mayor frecuencia de vientos del SW y por lo tanto, en gran parte de la costa, podría haber sido mayor de lo que es actualmente la componente W a E de la deriva. El otro componente fundamental de la dinámica sedimentaria litoral (Figura 2), sería como fuera mencionado, la existencia de campos dunares que movidos por el viento, vuelcan significativos volúmenes de arena a las vías de drenaje, las que cuando aumenta su capacidad de transporte (en épocas de precipitaciones), aportan este sedimento al mar o al estuario y pasa entonces a ser transportado por deriva litoral, alimentando a las playas en el sentido de la deriva dominante (Panario, 1999, 2000; Panario y Gutiérrez, 2003; Gutiérrez y Panario, 2005). Existen en la literatura numerosos trabajos³ que analizan el balance sedimentario en playas (Norris, 1964; Inman y Masters, 1991; Pasternack y Brush, 1998; Willis, 2002; Vinther *et al.*, 2004), o abordan el estudio de la dinámica de los sistemas dunares (De

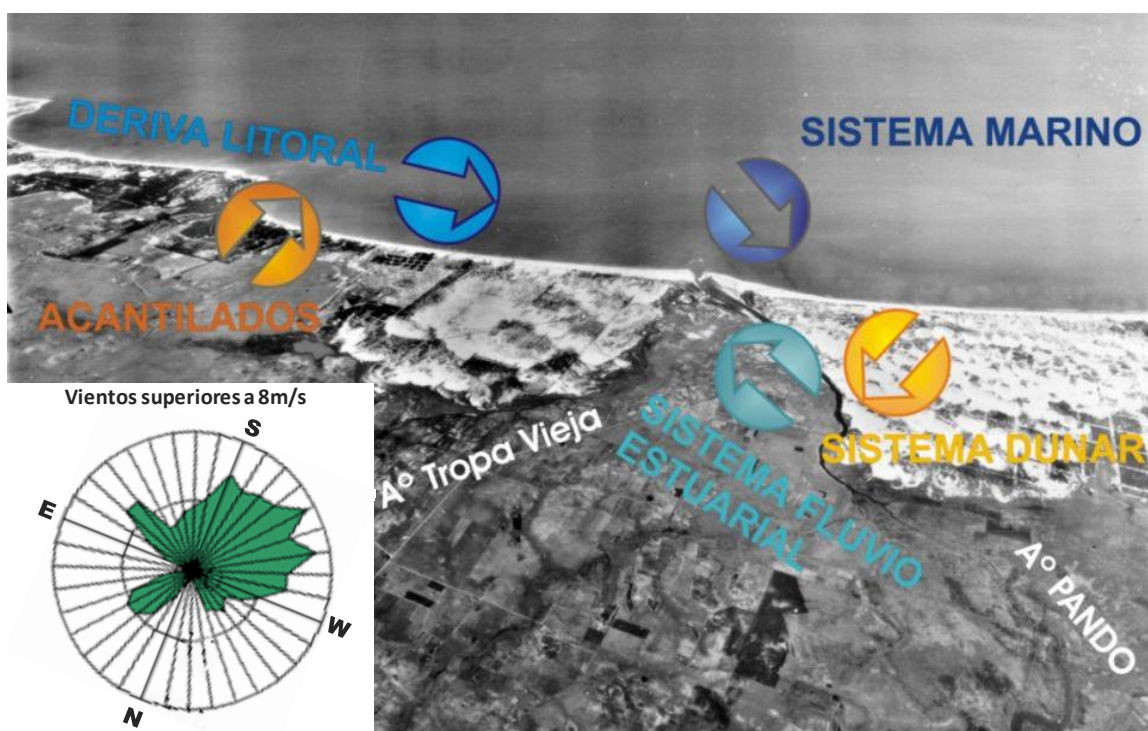


Figura 2. Ciclo de la arena y fuentes de aportes de sedimentos, graficados sobre foto del año 1945, vuelo del Trimetrogón. La rosa de los vientos fuertes que mueven cantidades significativas de arena (superiores a 8m/s) se grafica invertida para facilitar la comprensión de la dinámica dunar en la desembocadura del Arroyo Pando. Foto: Servicio Geográfico Militar (SGM).

^{3/} Se citan como ejemplo trabajos con exhaustiva revisión de las temáticas.

Lillis *et al.*, 2004), por otro lado, también ha sido estudiada la evolución de desembocaduras y sus intercambios de sedimentos (Gelfenbaum *et al.*, 1999), y si bien en algunos casos se menciona la existencia en estos sitios de sistemas dunares degradados, no se analizan los intercambios de sedimentos entre dunas, desembocaduras y playas aledañas. En trabajos de revisión como los de Stephenson y Brander (2003, 2004), tampoco se citan trabajos que hagan relación con estos intercambios.

Para la costa uruguaya, la forestación de dunas en zonas próximas a cursos de agua importantes, realizada en general a partir de la década de 1940, podría ser uno de los impactos más fuertes que desataron la erosión de playas. Esta forestación en general ha ido acompañada de la aparición de infraestructura (ramblas costaneras, calles, muros de contención) y otras construcciones, que terminan interrumpiendo los aportes de sedimentos desde este componente del ciclo de la arena.

Este proceso ha “fijado” la mayor parte de los sedimentos arenosos; pero sobre todo ha interrumpido un ciclo, al que debe sumársele la extracción minera de arena, bien documentada en playas como Pocitos a principios del siglo XIX (Ros, 1923; García Moyano, 1979), Costa Azul de Canelones hasta 1980, y hasta el presente en Bella Vista y en playas del W de Montevideo (en estas últimas en forma más o menos artesanal). Si bien la extracción ha sido mayoritariamente prohibida, aun subsisten extracciones ilegales de tipo artesanal en playas de Montevideo; e incluso otras que cuentan con la autorización de DINAMA (Dirección Nacional de Medio Ambiente) y/o DNH (Dirección Nacional de Hidrografía) en Bellavista (Dpto. Maldonado), La Esmeralda⁴ (Dpto. Rocha) y en extensas áreas del Dpto. de Colonia (Panario y Gutiérrez, 2006). El retroceso de la costa o la disminución del prisma de arena de la playa, tiene aquí una causal de importancia, pues el sistema costero debe estabilizar su estructura y funcionamiento con un menor *stock* sedimentario disponible.

A estas intervenciones, en las playas urbanas se ha agregado la canalización, desvío y entubamiento de vías de drenaje en áreas fuertemente urbanizadas, cuyos efectos positivos o negativos no han sido aún evaluados.

La erosión costera en zonas urbanas comenzó a hacerse notar a principios del siglo pasado (Panario *et al.*, 2008b), tomándose en Montevideo las primeras medidas en la década de 1920 con la construcción de espigones en Ramírez, la demolición de los restos del hotel de Los Pocitos en la década de 1930, y luego la rectificación del trazado original de la rambla en esta última playa en la década de 1950. En otras zonas, como en Piriápolis, la primer batería de espigones data de la década de 1940, en tanto en el resto del Uruguay, según MTOP/PNUD/UNESCO (1979) se comenzó a sentir como un

^{4/} En este caso la autorización es de la fracción de bioclastos (en este caso la arena es gruesa a muy gruesa y en su composición se observa hasta un 60 por ciento de material biogénico), elemento que ni siquiera se estudio si es renovable (Castiñeira *et al.*, *in press*).

problema recién en la década del 1960, implementándose medidas duras tendientes a revertirla en la década de 1970, como la construcción de espigones en Atlántida y La Floresta, sin que se consiguieran los efectos esperados.

Para el año 1982, un estudio realizado por la Dirección Nacional de Turismo (OEA, 1987), indicaba que la costa del Dpto. de Rocha estaba completamente fraccionada en unos 200.000 lotes que ocupan una superficie de 14.302 hectáreas, casi todos vendidos. La mayor parte de estas urbanizaciones o balnearios, que por decreto del año 1967 fueron declarados zonas suburbanas, aún sólo existen en los papeles y planos de las mismas, archivados en el municipio de Rocha (que en su momento las aprobó). La situación para otros departamentos costeros, es aun más comprometida. De continuarse esta tendencia de apropiación, sin conocimiento del funcionamiento de la costa, este paisaje y sus ecosistemas estarían condenados a ser descaracterizados aun antes de conocer su estructura y funcionamiento. Por lo tanto, conocer, cuantificar y entender las respuestas que el sistema costero da, tanto a la propia dinámica natural como a las intervenciones antrópicas, es una necesidad perentoria, y para ello es necesario comenzar por comprender la dinámica sedimentaria costera.

3. ANTECEDENTES

La investigación geomorfológica de la dinámica costera ha cobrado impulso a partir de la década de 1980, con los estudios para Australia de Short, McLahan y Hesp entre otros (Short, 1999), pero su importancia sólo ha sido reconocida a partir de la década de 1990, donde aparece un significativo número de artículos de revisión cubriendo un importante rango de formas y procesos costeros (Sherman y Bauer, 1993; Taylor y Stone, 1996; Hinton, 1997, 1998; Horn, 1997, 1999, 2002; Hesp *et al.*, 1999; Kench, 1999; Shand y Bailey, 1999; Allen, 2000; Butt y Russell, 2000; Díez, 2000; Stephenson, 2000; Van Wellen *et al.*, 2000; Mason y Coates, 2001; Elfrink y Baldock, 2002; Hesp, 2002; Jackson *et al.*, 2002; Kennedy y Woodroffe, 2002; Murray *et al.*, 2002; Spencer y Viles, 2002; Trenhaile, 2002; Uncles, 2002). Este proceso es concomitante en los países desarrollados, con la pérdida de supremacía que el abordaje desde la ingeniería había detentado, ante la sucesión de fracasos que ese enfoque hegemónico dejara de manifiesto (Brunsden y Moore, 1999; Hooke, 1999), lo que llevó a un esfuerzo por entender el funcionamiento a través de disciplinas como la geomorfología costera, desarrollándose un nuevo e importante bagaje teórico y metodológico.

Existen numerosos ejemplos en el mundo de países que han implementado con éxito programas de monitoreo e investigación. En EEUU, el *U.S. Geological Survey*, ha realizado el relevamiento de los cambios históricos de la posición de las líneas de costa, para la generalidad de las mismas, incluido el Estado de Hawaii. Pero también México, Cuba, España y Francia, por poner sólo algunos ejemplos, han realizado importantes esfuerzos en este sentido.

Aunque queda clara la importancia estratégica que los recursos costeros tienen para nuestro país, no se condice el esfuerzo dedicado a su conocimiento, tanto en investigadores como en investigación. Son menores aun los intentos de análisis, seguimiento e integración de los esfuerzos realizados desde abordajes sectoriales.

Los primeros y únicos trabajos sistemáticos que abarcaron la totalidad de la costa uruguaya fueron realizados en el marco del proyecto MTOP/PNUD/UNESCO (1979). Debe destacarse esta investigación, en la que por más de dos años se realizó un estudio profundo y sistemático de la dinámica física de la zona costera, incluyendo estudios puntuales, y también un análisis del ciclo de los sedimentos costeros, y cálculos de transporte. Sin embargo, las propuestas de solución a los problemas detectados, como la recarga de la zona SW de la Playa Pocitos, aunque acordes al estado del conocimiento de la época, hoy no son aceptables. Algunas de ellas fueron implementadas, y hoy sus efectos indican el error cometido (por ejemplo, la instalación de nuevos espigones).

Algunos otros esfuerzos vinculados a la temática, han sido realizados sobre todo para el Depto. de Rocha, donde fue realizado un plan de ordenamiento para la costa oceánica desde un punto de vista turístico/paisajístico con cooperación española (Crosara *et al.*,

1989), y otro por convenio entre UNCIEP-Facultad de Ciencias y la Intendencia Municipal de Rocha (de Alava, 1994), así como informes vinculados al cumplimiento de la Convención de Ramsar (Herzig, 1993), entre otros.

Debe ser mencionado, por la carencia previa en cuanto a datos de transporte sedimentario, los estudios realizados por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, midiendo y estimando la deriva litoral hacia el Oeste en la desembocadura del Arroyo Cufre (IMFIA, 1998).

Desde 1990, la UNCIEP (Unidad de Ciencias de Epigénesis), de la Facultad de Ciencias, tomó entre sus líneas de trabajo la zona costera. La necesidad de estos estudios, surge en razón de los procesos degradativos que afectan la dinámica de las playas, como resultado tanto de tendencias naturales, como relacionadas a las actividades antrópicas que históricamente se desarrollan en ellas.

Los estudios puntuales que analizan esta dinámica (Casciani y Musso, 1995; González *et al.*, 2003; Panario y Gutiérrez, 2003; Gutiérrez y Panario, 2005, 2006) han obtenido resultados que indican un retroceso de la línea de costa de entre 0,5 metros por año a 6,4 metros por año.

En cuanto a lo que a playas urbanas se refiere, son numerosísimos los estudios realizados sobre construcciones portuarias o intervenciones puntuales (como muros, edificaciones, espigones, rompeolas, procesos de recarga artificial, etc.). Existen a su vez estudios sobre series de imágenes, en general realizados a partir de pocos registros aunque cubran períodos más o menos prolongados, y en general sin una revisión de crónicas de época o documentos históricos de otra índole. Para Montevideo existen entre 17 y 23 registros por playa desde 1927 al presente, y en la desembocadura del Arroyo Pando, se accede a un registro excepcional que alcanza a más de 25, incrementados en algunos casos significativamente desde el registro de imágenes históricas disponibles en *Google Earth 5*, lo que permite discutir la validez del método, y eventualmente analizar cuál sería un número suficiente de registros y el lapso para las condiciones de esta margen del Río de la Plata.

El presente estudio se enmarca en la necesidad de incrementar el conocimiento de la dinámica costera de playas arenosas en el Uruguay, sus tendencias evolutivas y escenarios futuros frente a los procesos del Cambio Global, para lo cual es fundamental el conocimiento de la dinámica de ambientes altamente inestables, como las desembocaduras de ambientes fluviales en arcos de playa y las playas urbanas.

4. OBJETIVOS

- 1) Conocer la dinámica actual y tendencias evolutivas de playas urbanas del área metropolitana de Montevideo.
- 2) Analizar las fluctuaciones de la línea de costa en relación a los forzantes climáticos (ascenso del nivel del mar, régimen de vientos, precipitaciones), lo que permitirá prever su tendencia en relación a escenarios futuros de cambio climático.
- 3) Evaluar cuantitativamente el impacto sobre la dinámica sedimentaria costera, de la forestación de dunas con especies exóticas y la urbanización en zonas de fuerte intercambio de arena entre estas y la playa, a través del curso inferior de vías fluviales.
- 4) Analizar la pertinencia del análisis por secuencias cartográficas y otras fuentes documentales.

5. HIPÓTESIS

Hipótesis Objetivo 1. *La respuesta de las playas urbanas esta signada por su historia previa, los forzantes naturales (como el ascenso del nivel del mar, régimen de vientos, precipitaciones) y el Cambio Climático.*

Hipótesis Objetivo 2. *La principal forzante natural que explica el comportamiento de las playas analizadas es el régimen de vientos, en particular eventos extremos.*

Hipótesis Objetivo 3. *La fijación de dunas costeras con especies forestales exóticas y su posterior urbanización (calles, viviendas, enjardinados e impermeabilización en general), ha producido un significativo impacto en el equilibrio de nuestras playas (a partir de los volúmenes de arena retenidos).*

Hipótesis Objetivo 4. *La relevancia de los estudios por secuencias cartográficas depende de la magnitud de los procesos analizados y de la serie de imágenes disponibles.*

6. MÉTODOS Y TÉCNICAS

6.1. REVISIÓN DE ARCHIVOS

Fue realizada una búsqueda procurando acceder a la mayor cantidad de cartografía, imágenes aéreas y documentos de las zonas de estudio, tanto en poder de otros investigadores como de instituciones públicas: Intendencia Municipal de Montevideo (IMM), Intendencia Municipal de Canelones (IMC), Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea (SSRFAU), Servicio Geográfico Militar (SGM), Dirección Nacional de Hidrografía (DNH), Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA). Fueron utilizadas también imágenes del archivo de “imágenes históricas” del *Google Earth 5* (disponibles desde el año 2000 para las zonas en estudio), del archivo propio de la UNCIEP, así como un recubrimiento aerofotogramétrico ⁵ tomado por encargo para el estudio de la desembocadura del Arroyo Pando (Panario y Gutiérrez, 2003).

El archivo de imágenes recopiladas comprende imágenes de muy diferente calidad e incluye tanto tomas verticales como oblicuas, en diferentes escalas y resoluciones, la mayoría en escala de grises y las más recientes en color. Fue imposible conseguir completos los metadatos ⁶ de todo el archivo obtenido. En algunos casos sólo pudo llegarse a recuperar el mes y el año de la foto. De algunas imágenes, sólo se ha recuperado el dato del año, tal el caso de varios relevamientos fotográficos digitales, realizados para la zona costera y que incluyen al Arroyo Pando.

Una vez seleccionadas las áreas de estudio, se procedió a la digitalización de las fotos papel con un escáner de mesa usando 1.200 dpi para la escala 1:20.000 (y menores) y 800 dpi para la escala 1:10.000 (y mayores). Fueron escaneadas orientadas al norte para minimizar los errores. Además siempre que fue posible, se usó la mayor resolución disponible de los relevamientos realizados con cámaras digitales.

A su vez fue buscada información documental de cartografía antigua en repositorios de bibliotecas *online* (como es el caso de la *Bibliothèque Nationale de France* y el *National Maritime Museum*), en el archivo particular del investigador Dr. Loïc Menanteau de la Universidad de Nantes, y en la Mapoteca del SGM. Además, fundamentalmente para Pocitos, se encontraron relatos de época y estudios en la Colección Arredondo de la Biblioteca de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.

^{5/} Mayo del 2002, efectuado por Cor. Av. (R) Antonio Ruik (*Pyke & Cia S.A.*).

^{6/} Se denomina así a toda aquella información descriptiva sobre el contexto, calidad, condición o características de un recurso, dato u objeto que tiene la finalidad de facilitar su recuperación, autenticación, evaluación, preservación y/o interoperabilidad (para este caso: cámara, altura, distancia focal, hora, fecha del vuelo, número de negativo, donde está archivada, etc.).

6.1.1. Archivo de imágenes de Montevideo

En el archivo de la Intendencia Municipal de Montevideo, se solicitó y obtuvo autorización para revisar sus archivos fotográficos clasificados y no clasificados, consistentes en algunos miles de tomas entre placas en vidrio y copias en papel (estimadas en unas 7.000 aproximadamente), que abarcan los relevamientos totales o parciales de Montevideo efectuados entre los años 1927 y 1996, pudiéndose realizar una muy aceptable reconstrucción de la información.

Puede asignarse plena certeza al orden cronológico de las fotos, confirmado luego de un exhaustivo análisis de la evolución de la ciudad en general, y en particular de las infraestructuras cercanas a las playas. Para esta reconstrucción resultó imprescindible la información aportada por técnicos que estuvieron vinculados a este archivo. A su vez, se procedió a crear un registro con los metadatos disponibles, y a corregir el archivo de la IMM. Sin embargo, debido a los errores que suele haber en los archivos de documentos, sobre todo los fotográficos (olvidos, omisiones, errores, cambios de criterios de que datos conservar), pueden deslizarse confusiones involuntarias. Fueron utilizados los números de los negativos para recomponer la secuencia en que fueron tomadas las fotos ⁷, y se usaron las anotaciones del SGM (que realizó las copias en papel), que son colocadas (por lo menos) detrás de la primera o última foto de cada relevamiento. También fueron usados para afinar la clasificación y resolver contradicciones, las anotaciones hechas por los técnicos que las utilizaron en la época en que fueron adquiridas. Asimismo se realizaron contrastaciones contra diferentes cartografías realizadas por la propia IMM, y también contra información pública de fechas y escalas de los recubrimientos aerofotográficos del Departamento de Montevideo, para confirmar la validez de la reconstrucción y el análisis.

Asimismo se han utilizado cartografías de precisión de 1906 realizadas para una propuesta de saneamiento de Pocitos (García, 1908), y escenas de diferentes sensores remotos modernos: *Ikonos*, *Digital Image*. Así como dos relevamientos digitales de la IMM.

6.1.2. Archivo de imágenes del Arroyo Pando

En este caso la búsqueda fue realizada en el archivo del Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea, en principio dirigida a obtener las imágenes utilizadas en la investigación del MTOP/PNUD/UNESCO (1979). Parte de esta información fue encontrada en la DINAMA. Al constatarse que se encuentran perdidos los negativos de varios relevamientos, se procedió a rescatar la información del único registro que parece haberse preservado, y que consiste en fotos digitales de resolución

^{7/} Por ejemplo de este análisis surgió que el contador de la cámara Poivilliers A-18 propiedad de la IMM (con las que se tomaron la mayoría de las fotos en escala 1/10.000 por las décadas de los años 1960 a 1980, montada en un avión del SSRFAU) estuvo varias veces roto en los dígitos que indican el año.

media, de las imágenes originales impresas en papel. También fue utilizada una escena *Spot*.

Debe señalarse que por fiables que puedan resultar los archivos (como el del SSRFAU), siempre se requiere analizar la congruencia de la fecha con lo observado en imágenes anteriores o posteriores, pues se ha verificado para esta zona, que los rollos de negativos, pueden contener imágenes copiadas por contacto y por tanto, incluir fotos de otro año; sin que ello aparezca en los metadatos que se conservan, cuando ellos están disponibles de forma completa.

6.2. SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO

Concomitante a la revisión de archivos, se realizó la selección de las áreas de trabajo, de zonas costeras que cumplieran una de las siguientes condiciones, y que tuvieran coberturas aerofotográficas y relevamientos cartográficos en una densidad suficiente como para permitir analizar tendencias aún de escasa magnitud:

a) Desembocaduras con campos de dunas que presuntamente hubieran aportado arena de forma significativa a las playas, y sin este aporte.

Fueron seleccionados dos sitios, uno en el que existían evidencias de interacciones entre el sistema dunar y la costa, tal es el caso de la desembocadura del Arroyo Pando (playas El Pinar y Neptunia, ubicadas respectivamente al E y W), y otro, donde el campo de dunas asociado no parecía realizar aportes significativos, como es la desembocadura del Arroyo Carrasco (playas de Carrasco y San José de Carrasco ubicadas al E y W) por no presentar dunas activas de importancia.

La inclusión de la desembocadura del Arroyo Pando, se fundamentó además en el hecho de la numerosa documentación existente sobre la misma, habiéndose relevado 27 recubrimientos (que la abarcan en forma total, y otros 7 parciales) entre aerofotografías y cartografía a partir del año 1928 (Panario y Gutiérrez, 2003; Gutiérrez y Panario, 2005, 2006), lo que lo torna un punto ineludible de análisis (Tabla 1). Se incorporó además una carta de 1789.

A su vez la desembocadura del Arroyo Carrasco tiene también un importante número de coberturas aerofotográficas, las que fueron incrementadas con los archivos disponibles en *Google Earth 5*, cubriendo un lapso entre 1929 hasta el año 2008 (Tabla 2).

Tabla 1. Metadatos de la cartografía y sensores remotos obtenidos para la desembocadura del Arroyo Pando.**CARTOGRAFÍA**

Fecha	Característica	Fuente	Escala
<i>Carta esférica del Río de la Plata desde su desembocadura hasta Buenos-Ayres</i>	levantada en 1789 y rectificada en 1794, (publicada 1798)	NMM	--
Hoja La Unión IX-29	apoyo de campo 1928 (edición 1930)	SGM	1:50.000
Hoja Montevideo 24	edición 1933	SGM	1:200.000
Hoja El Pinar J-29-a	apoyo de campo mayo 1987 (edición noviembre 1988)	SGM	1:25.000
Hoja La Unión J-29	apoyo de campo junio 1984 (edición agosto 1984)	SGM	1:50.000

AEROFOTOGRAFÍAS

Fecha	Característica	Fuente	Escala
1937, 19 de mayo	panorámica	FAU	--
1943, 14 de marzo	oblicua	SGM	1:40.000
1951, 22 de octubre	vertical	FAU	1:20.000
1960, 25 de octubre	vertical	FAU	1:20.000
1964, 14 de setiembre	vertical	FAU	1:20.000
1966, 27 de enero	vertical	SGM	1:20.000
1966, 26 de diciembre	vertical	SGM	1:20.000
1967, 13 de junio	vertical	SGM	1:40.000
1971, 26 de enero	vertical	FAU	1:10.000
1971, 26 de agosto	vertical	FAU	1:10.000
1975, 21 de enero	vertical	FAU	1:20.000
1976, 06 de febrero	vertical	FAU	1:10.000
1976, 17 de junio	vertical	FAU	1:20.000
1977, 13 de mayo	vertical	FAU	1:20.000
1978, 26 de abril	vertical	FAU	1:20.000
1980, 12 de enero	vertical	FAU	1:50.000
1980, 25 de mayo	vertical	FAU	1:20.000
1982, 13 de febrero	vertical	FAU	1:20.000
1984, 4 de diciembre	vertical	FAU	1:10.000
1987, marzo	vertical	SGM	1:40.000
1990, 2 de junio	SPOT XS	----	pixel 25 m
1994, mayo-junio	vertical	DINAMA	1:5.000
1995, 23 de octubre	vertical	FAU	1:10.000
1996, 22 de enero	vertical	FAU	1:5.000
1997, abril	vertical	DINAMA	1:5.000
1998, 1 de diciembre	vertical	CCG	pixel 0.75 m
1999, 16 de noviembre	vertical	FAU	1:20.000
2000, 25 de abril	vertical	FAU	1:10.000
2000, 24 de noviembre	vertical	FAU	1:20.000
2001, 21 de enero	vertical	FAU	
2001, 21 de noviembre	vertical	FAU	1:25.000
2002, marzo	vertical	DINAMA	
2002, mayo	Vertical	Pyke y Cia	pixel 0.20 m

Abreviaturas: NMM: *National Maritime Museum*; FAU: *Fuerza Aérea Uruguaya*; DINAMA: *Dirección de Medio Ambiente*; SGM: *Servicio Geográfico Militar*; CCG: *Comisión de Cambio Global*

Tabla 2. Metadatos de la cartografía y sensores remotos obtenidos para las playas urbanas de Montevideo y la desembocadura del Arroyo Carrasco.

Fecha*	Fuente	Esc original	Ramírez	Pocitos	Buceo	Malvín	Brava	Carrasco
1927, marzo 16	DINAMA	1/8.000						
1929, marzo 21	SGM	1/7.500						
1939	IMM	1/5.000						
1942, noviembre 25	DINAMA	1/7.300						
1945, enero	IMM	1/10.000						
1949	DINAMA	?						
1954, mayo 14	IMM	1/15.000						
1954, mayo 17	IMM	1/30.000						
1961, abril 10	IMM	1/15.000						
1961, diciembre 13	IMM	1/15.000						
1961, diciembre 21	IMM	1/15.000						
1965 octubre 26	IMM	1/10.000						
1966, enero 26	SGM	1/20.000						
1970, julio 21	IMM	1/7.500						
1970, agosto 21	IMM	1/7.300 y 1/10.000						
1970, diciembre 07	IMM	1/10.000						
1971, mayo 01	IMM	1/10.000						
1973, octubre 27	IMM	1/10.000						
1975, enero 29	IMM	1/10.000						
1979, marzo 29	IMM	1/10.000						
1983, febrero 12	IMM	1/12.000						
1985, diciembre	IMM	1/10.000						
1991, mayo	IMM	1/5.000						
1996, junio	IMM	1/40.000						
2000, enero	IMM							
2000, setiembre 22	Google Earth							
2001 agosto 09	Google Earth							
2002, setiembre 21	Google Earth							
2003, octubre 23	IMM	1/10.000						
2004, mayo	IMM							
2004, mayo 28	Google Earth							
2005, noviembre 27	Google Earth							
2006, setiembre 6	Google Earth							
2006, setiembre 24	Google Earth							
2006, noviembre 12	IMC							
2007, setiembre 29	IMM	1/10.000						
2007, diciembre 8	Google Earth							
2008, abril 30	Google Earth							
Totales:			23	21	17	17	17	19

* No siempre se cuenta con datos precisos de la fecha.

Abreviaturas: IMM: Intendencia Municipal de Montevideo, IMC: Intendencia Municipal de Canelones; DINAMA: Dirección de Medio Ambiente; SGM: Servicio Geográfico Militar

b) Playas urbanas con diferentes orientaciones en relación al Swell y los vientos dominantes.

Fueron seleccionados cinco arcos de playa urbanas de Montevideo: Ramírez, Pocitos, Buceo, Malvín y Brava⁸, por tratarse de las primeras playas certificadas de la capital, según normas ISO 14.001.

^{8/} El estudio de estas playas se realizó en el marco del convenio Facultad de Ciencias - IMM: Propuesta técnica para la conservación recuperación de la playa del Buceo y playas certificadas de Montevideo.

A su vez las playas urbanas seleccionadas tienen también un importante número de vuelos, los que fueron incrementados con los archivos disponibles en *Google Earth 5*, cubriendo un lapso desde 1927 hasta el año 2008: 23 en Ramírez, 22 en Pocitos, 17 en Buceo, 17 en Malvín, 17 en Brava. Se incorporaron además tres cartas del siglo XIX al análisis de Ramírez (Tabla 2).

6.3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL Y CONSTRUCCIÓN DEL SIG

Elegidas las desembocaduras y los arcos de playa urbanos y obtenida la información cartográfica, se procedió a la geo-referenciación de las imágenes, usando para el Arroyo Pando la proyección Gauss, meridiano de contacto 62G, *Datum* Yacaré, y para Montevideo la proyección UTM (*Universal Transverse Mercator*) zona 21. Esta decisión fue operativa, debido a la información de base de que se dispone para cada sitio, como se explicará a continuación.

El software usado fue *ArcView 3.3* con la extensión *Image Analysis 1.1*. Fue utilizado *ArcGis 9.3* con algunas imágenes en las que no se lograba una geo-referenciación aceptable, debido a que este último tiene algoritmos más potentes que permiten un mejor ajuste (se utilizaron algoritmos de 2do. orden). Otras extensiones de *ArcView* usadas fueron *Polygeom*, *Santitools* y *Xtools*.

6.3.1. Geo-referenciación de imágenes de Montevideo

El archivo vectorial realizado por la IMM a partir de un relevamiento con precisión decimétrica del muro interior de la Rambla, fue usado como base para la geo-referenciación de las imágenes, usando como datos accesorios otras coberturas vectoriales, entre ellas la cartografía de padrones⁹. Fue asumido un margen de error en el entorno de ± 50 cm en la geo-referenciación relativa entre imágenes para la zona de interés, debido a corrimientos y errores de posicionamiento atribuibles a deformaciones de las fotos (que no fueron ortorectificadas). Como el objetivo del presente estudio es verificar las modificaciones de la ubicación de la **línea de costa**, en el proceso de superposición de las imágenes, fue priorizada la precisión a ser alcanzada desde el muro de la rambla hacia la playa, y para el Arroyo Carrasco de la actual rambla hacia la playa. La cartografía de la rambla tiene una precisión submétrica, por lo que su error sumado al obtenido en la geo-referenciación relativa de las imágenes, no superaría en mucho al metro respecto a su geo-referenciación absoluta.

Para la geo-referenciación de las imágenes de Montevideo, fue tomada como base el relevamiento hecho por FAU para la IMM en setiembre de 2007¹⁰, y geo-referenciado por esta última, al que se le hicieron ajustes de referenciación en la zona de interés. Una vez corregida esta imagen se la suma al análisis para buscar puntos de referencia con la

^{9/} Contiene información de identificación y geometría parcelaria del catastro urbano.

^{10/} Concomitante al relevamiento se realizó un relevamiento de campo.

foto inmediata anterior (creándose una cobertura auxiliar de puntos de geo-referenciación a partir de dibujar objetos más o menos persistentes a través de los años, como árboles, calles o trillos, construcciones y estructuras geomorfológicas). La secuencia de referenciación se hace tomando siempre la imagen más próxima en el tiempo. Con esta metodología, se logró referenciar toda la serie de imágenes sobre la misma base cartográfica, minimizando así las deformaciones y errores en términos comparativos entre las mismas.

Para la geo-referenciación de la serie de imágenes de la desembocadura del Arroyo Carrasco, sólo se contaba con el archivo vectorial de la Rambla, hasta el límite departamental. Al constatarse que el relevamiento de setiembre del 2007 de la IMM, al Este del arroyo tenía una deformación muy importante, fue utilizado como base para la referenciación relativa del resto de las imágenes, un relevamiento realizado por la Intendencia Municipal de Canelones en setiembre de 2006.

6.3.2. Geo-referenciación de imágenes del Arroyo Pando

En la desembocadura del Pando, se procedió a referenciar en formato digital la hoja cartográfica “El Pinar J-29-a” (escala 1:25.000) del Servicio Geográfico Militar (proyección Gauss, meridiano de contacto 62G, *Datum* Yacaré), la que fue utilizada como base para la geo-referenciación de la serie de imágenes. Como esta carta fue confeccionada sobre la base de fotos aéreas de marzo del año 1987 y apoyo de campo de mayo del mismo año, se comenzó por dicha imagen, a partir de la cual, se buscaron puntos de referencia con la foto inmediata anterior de diciembre de 1984, procediéndose tal como fue detallado en la metodología de las playas urbanas (*ítem 6.3.1 Geo-referenciación de imágenes de Montevideo*), y luego repitiendo el procedimiento a partir de la foto de marzo de 1987 para las imágenes más recientes.

Las imágenes utilizadas incluían, como fuera expresado *up supra*, desde tomas con diferentes grados de oblicuidad, hasta verticales, en diferentes escalas y resoluciones. De hecho, estas tomas incluyeron también escalas desde 1:5:000 a 1:50:000, así como una imagen del satélite *Spot*; y desde negativos escaneados hasta fotos de cámara digital tomadas a una imagen en papel, y por tanto de muy diferente calidad. En todos los casos, se consiguió un error relativo promedio aceptable (± 3 m) para el tramo de costa, salvo para las fotos muy oblicuas, las que de todas formas permiten tener una idea cualitativa de los procesos y las modificaciones que a lo largo del tiempo se produjeron en el sistema, pero no fueron utilizadas para los análisis estadísticos.

Las fotos en formato digital, con cierto grado de oblicuidad, fueron recortadas para formar mosaicos que permitieran alcanzar la precisión deseada.

6.4. DIGITALIZACIÓN DE LÍNEAS DE COSTA Y OTROS INDICADORES

Debido a la naturaleza dinámica del “límite idealizado de la línea de costa”, para los propósitos práctico de investigaciones costeras generalmente se adopta el uso de *indicadores* de línea de costa. Un indicador de la línea de costa es una característica que se utiliza como *proxy* para representar a la "Verdadera" posición de la costa (Boak y Turner, 2005).

Se tomó la decisión de utilizar tres criterios a la hora de digitalizar este indicador sobre las imágenes.

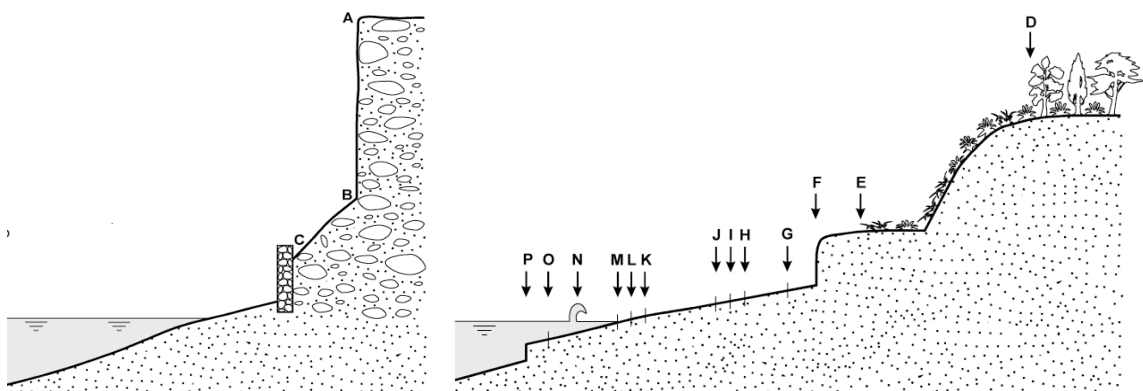
Por un lado se utilizó la denominada **línea de marea alta previa - LMAP** (*Previous high tide high water level*¹¹), utilizada en este tipo de trabajo, porque diferencias relativamente importantes entre mareas, producen un error mínimo en la traslación cartográfica horizontal de la línea de costa, dado que el segmento de playa por encima de la marea alta, es el que presenta mayor pendiente en el perfil transversal de la misma (según Norris, 1964; Anders y Byrnes, 1991; Inman y Masters, 1991; Crowell *et al.*, 1991, 1993; Shalowitz, 1964, Byrnes *et al.*, 1991 citados en Mc Bride *et al.*, 1995; Orford *et al.*, 1997; Crowell y Leatherman, 1999; Moore, 2000; Willis, 2002; Barton *et al.*, 2003; Domínguez *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2006). Es una estructura fácilmente visible en los registros, permitiendo una relativa estandarización de la posición del nivel del mar para la serie histórica de fotos analizadas. En la Figura 3 aparece señalada con la letra **I**.

Por otro lado, a los efectos de comparar resultados, también se utilizó otro indicador denominado **línea seca/húmeda o zona actual de alcance de la ola - LSH-ZAIO** (*Wet/dry line or runup maxima*) (según Dolan *et al.*, 1978, 1980, Overton *et al.*, 1999 citados en Boak & Turner, 2005), indicado en la Figura 3 con la letra **K**. Esta línea indica el límite erosivo-constructivo ubicado en la zona de máximo alcance de la ola, y en las fotos se identifica muy nítidamente por diferencia de tonos. Se detecta en la propia playa por un cambio en la forma, pasando de un perfil cóncavo a un perfil convexo, y también por un quiebre claro en el ángulo de la pendiente.

El tercer indicador utilizado es el **antiguo límite de marea alta - ALMA** (*An old high tide water level*), que es el límite con la arena seca, que presenta los inconvenientes de que el viento puede borrarla o tornarla discontinua según Crowell *et al.*, 1991; Leatherman, 1983, Stafford y Langfelder, 1971, Dolan *et al.*, 1978, 1980, Overton *et al.*, 1999 citados en Boak & Turner, 2005). Aparece identificado con la letra **H** en la Figura 3. Otro inconveniente observado, es que en playas urbanas, que reciben tratamientos de limpieza durante todo el año, y una carga de visitantes muy importante en verano, debe tomarse con precaución la permanencia inalterada de este indicador en las fotos.

^{11/} Se decidió incluir el nombre en inglés para facilitar la comparación, la traducción al español fue realizada por el autor de esta tesis, y puede no corresponderse con las efectuadas por otros autores.

Se debe señalar que el **nivel antiguo de marea alta** (letra H) y la **línea de marea alta previa** (letra I), bajo ciertas condiciones pueden coincidir totalmente en la misma ubicación espacial en la playa; este hecho no resulta significativamente grave, dado que



- | | |
|---|--|
| A Bluff top/cliff top | I Previous high tide high water level |
| B Base of bluff/cliff | J Mean high water (datum referenced) |
| C Landward edge of shore protection structure | K Wet/dry line or runup maxima |
| D Seaward stable dune vegetation line | L Groundwater exit point |
| E Seaward dune vegetation line | M Instantaneous water line |
| F Erosion scarp | N Shorebreak maximum intensity |
| G Storm/debris line | O Mean lower low water line (datum referenced) |
| H An old high tide water level | P Beach toe/crest of beach step |

Figura 3. Arriba: Sobre una foto de *Duranbah Beach*, Nueva Gales del Sur, Australia se señala la ubicación espacial de varios indicadores de línea de costa. Abajo: Esquema de la relación espacial entre indicadores de posición de la línea de costa de uso común en trabajos científicos. (Extraído de Boak & Turner, 2005).

se trata de registros del mismo fenómeno en intensidades similares y ocurridos en un período de tiempo no demasiado extenso. Además sus registros siempre quedan en posiciones espaciales muy cercanas, y en algunos puntos normalmente se superponen.

También se debe señalar que los anteriores, bajo ciertas condiciones de marea alta, pueden coincidir espacialmente con la ubicación de la **línea seca/húmeda** o **zona actual de alcance de la ola**.

Boak & Turner (2005) realizan una revisión de autores e indicadores, y si bien existen más registros *proxy* que pueden ser utilizados (Figura 3), los mismos quedan enmascarados para nuestras condiciones por construcciones o forestación, como el caso del cordón dunar, o directamente no son aplicables o generalizables.

La digitalización en pantalla de las líneas de costa se realizó a una escala 1:3.000 para estandarizar el procedimiento.

6.4.1. Digitalización de indicadores de playas urbanas de Montevideo

Para el análisis multitemporal de los avances y retrocesos de las **líneas de costa** de las playas urbanas (Ramírez, Pocitos, Buceo, Malvín y Brava), se optó por trazar el polígono (área) de cada una de las imágenes, tomando como límites el *shape Rambla* digitalizado por la IMM (y que fuera usado para la geo-referenciación del archivo de imágenes de estas playas), y como límite externo uno de los indicadores de **línea de costa**.

La selección de la rambla como límite se debe a que ya estaba presente (total o en su mayor parte) aun en las fotos más antiguas de las que se dispone, y ha funcionado como un límite de la zona de playa a los efectos de medir las variaciones de pérdidas o ganancias en términos de superficies. En particular, Buceo, Malvín y Brava desde los registros fotográficos más antiguos mantienen la rambla en el trazado actual, Ramírez en fotografías de 1923, ya tenía la rambla que la circunda en la misma ubicación, sin embargo existía por esa fecha un descanso que ocupaba un área importante (1.000 m²) retirado con posterioridad (después de 1940 y antes de 1945, Figura 4). A diferencia de las anteriores, la playa de Pocitos creció en superficie, luego de que fuera entubado el Arroyo de los Pocitos que desembocaba en su extremo NE, posteriormente al año 1927, construyéndose una rambla sobre la superficie de playa “ganada”, la que posteriormente se demuele (año 1952) y se ubica en la posición actual (Figura 5).

Para Ramírez y Pocitos se utilizaron la **línea de marea alta previa (LMAP)** y la **línea seca/húmeda** o **zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**, a efectos de comparar resultados, y analizar si se modificaba la tendencia de evolución de estas playas, por usar uno u otro. En algunos registros fotográficos, la ubicación de ambos indicadores está situada en el mismo lugar. Si bien en estas dos playas se utilizaron ambas líneas a efectos de la comparación de métodos, los resultados obtenidos (R^2 similares) (Figura 6) habilitaron a optar por uno u otro, según la facilidad de observarlo propia de cada ambiente.



Figura 4. En la foto del año 1940, se puede apreciar la ubicación del descanso existente para la época en Playa Ramírez. Para el año 1945 (próximo registro fotográfico disponible) este ya había sido retirado. Foto: CMDF-IMM (Centro Municipal de Fotografía, Intendencia Municipal de Montevideo).

En **Buceo** se trazó la línea de costa siguiendo dos indicadores **LMAP** y **antiguo límite de marea alta (ALMA)**. A su vez se realizó también una evolución de la cobertura de uso del suelo de cinco clases: arena seca (**ALMA**), arena húmeda, dunas parabólicas (*blowout*), área “parquizada”¹², y estructuras antrópicas (construcciones tales como paradores, baños, etc.).

En **Malvín** se trazó la línea de costa siguiendo dos indicadores **LMAP** y **ALMA**. A su vez se realizó también una evolución de la cobertura de uso del suelo separando cuatro clases: arena seca (**ALMA**), arena húmeda, área “parquizada” (fijación de la playa por vegetación con formación de suelo) y estructuras antrópicas (construcciones tales como paradores, baños, etc.).

En **Brava** se trazó la línea de costa siguiendo dos indicadores **LMAP** y **ALMA**. A su vez se realizó una evolución de estructuras antrópicas (construcciones tales como cine, colector del saneamiento, baños, etc.).

A su vez para la **Punta del Descanso**, ubicada entre las playas Malvín y Brava, se digitalizó también como polígonos la evolución de la colonización por vegetación del tómbolo lo que puede interpretarse en términos de saturación en sedimentos del flujo (Panario y Gutiérrez, 2005).

^{12/} Zona enjardinada mantenida con corte de pasto y donde se plantan árboles, arbustos y otras plantas decorativas, sin llegar a ser un jardín.



Figura 5. En la imagen del año 1945, puede observarse el primer trazado de la rambla de la Playa Pocitos. En la foto panorámica del año 1930, se aprecia en más detalle su emplazamiento sobre la playa, convirtiéndola en dos arcos casi independientes. La línea azul indica el área de playa para la foto del año 1927, que fue utilizada como: “límite continental: playa año 1927”. La línea turquesa gruesa indica la ubicación de la rambla en su trazado actual, que fue utilizado como: “límite continental: playa año 2008”. La diferencia de área hacia el NE entre una y otra superficie, está dada por la ganancia de playa obtenida al entubar la desembocadura del Arroyo de los Pocitos. Las flechas rojas indican los extremos del tramo de rambla que ha permanecido inalterado en su ubicación para toda la serie de fotos. Aerofotografía fondo: enero de 1945, SSRFAU. Foto detalle: archivo CMDF-IMM.

	LMAP	LSH-ZAIO
Playa Ramírez	R= 0.344964 p = 0.1907 significativo al 81%	R= 0.346699 p = 0.1883 significativo al 81%
Playa Pocitos	R= 0.32249 p = 0.2411 significativo al 76%	R= 0.445421 p = 0.0961 muy significativo al 90%

Figura 6. Comparación para la Playa Ramírez y Pocitos de la significación estadística de dos indicadores: línea de marea alta previa (LMAP) y línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO). Como puede observarse, para Ramírez la tendencia es la misma, sin embargo para Pocitos se evidencia una mayor significación cuando se usa LSH-ZAIO, esta diferencia puede explicarse por el intenso pasaje de maquinaria de limpieza y el perfil transversal propio de cada ambiente que influyen sobre la conservación del registro de LMAP, pudiéndose enmascarar las tendencias por lo menos de las fotos de verano. Por tanto, para playas urbanas con intensas medidas de mantenimiento, tal como sostiene A. Pérez Alberti (*com. pers.*) parece recomendable usar LSH-ZAIO.

Para **Pocitos**, se tomó la decisión de trazar la evolución de la línea de costa de dos formas. Por un lado, se decidió usar un artefacto (denominado “límite continental: playa año 1927”) para analizar la evolución multitemporal de esta playa, recortando el *límite continental* de la playa, por el existente en el año 1927 (Figura 5), por lo tanto, con un polígono con ese límite, se digitalizaron las posiciones de costas para la serie de imágenes, a efectos de analizar el comportamiento de esta playa sin la ganancia “artificial” de área generada por el retiro de la desembocadura del Arroyo Pocitos, al ser entubado y conducida su salida atrás del Parador Kibón (Figura 7). Un segundo análisis fue hecho a partir de digitalizar el área de playa correspondiente a cada imagen, considerando todas las rectificaciones que ha tenido el trazado de la rambla hasta llegar a su configuración actual (artefacto denominado “límite continental: playa año 2008”).



Figura 7. En la imagen de 2007 puede observarse el entubado y canalización de la desembocadura del Arroyo Grande de los Pocitos, que pasa a desaguar a 1.000 metros del lugar original, parte del tramo conducido bajo subsuelo. Foto: 2007, IMM.

6.4.2. Digitalización de las líneas de costa de las desembocaduras

Como se mencionó precedentemente no se pudo estandarizar el método de cálculo por la disparidad de comportamiento de los sitios. En efecto, mientras las playas urbanas de Montevideo están contenidas en su límite continental por estructuras permanentes como los muros de la costanera, en otras playas de urbanizaciones menos consolidadas como en las desembocaduras de ambos arroyos en estudio, el límite externo ha variado como resultado de diferentes procesos como la urbanización y la forestación, y en El Pinar y Neptunia ninguno de esos dos procesos ha logrado consolidar el límite continental, siendo removidas por efectos de las olas, costaneras y forestaciones.

Para las desembocaduras de los Arroyos Pando y Carrasco, se procedió a la digitalización en pantalla de las líneas de costa creando *shapes* de líneas. La selección del indicador de línea de costa, se hizo analizando cual se encontraba mejor expresado en cada serie de fotos.

Para la desembocadura del Arroyo Carrasco se utilizó la **línea seca/húmeda o zona actual de alcance de la ola (LSH-ZAIO)**.

Para la desembocadura del Arroyo Pando se utilizó la **línea de marea alta previa (LMAP)**, dado que la peor calidad de las imágenes (baja resolución de muchas de ellas) hacía que quedara enmascarado el indicador **LSH-ZAIO**. La **línea de marea alta previa** es un registro que siempre está presente en las imágenes (y tomando en consideración que los vuelos aerofotogramétricos, en general, se realizan en condiciones atmosféricas estables), la marea alta permite una relativa estandarización del nivel del mar en la serie de fotos.

6.5. MEDIDAS DE RETROCESO - AVANCE DE LA LÍNEA DE COSTA Y OTROS INDICADORES

6.5.1. Playas urbanas de Montevideo

Los polígonos del análisis multitemporal de imágenes realizado para cada playa fueron seleccionados por cada **indicador de línea de costa** utilizado, y fusionados en un sólo *shape* usando la extensión *Geoprocessing*, para de esta manera generar de manera automatizada la tabla que contuviera la información de fechas y áreas en metros cuadrados para cada imagen, y con ellas se procedió al análisis de tendencias y su significación estadística. La decisión de analizar la evolución de las playas a partir de medir las pérdidas-ganancias (avances y retrocesos) en superficie de arena expuesta, fue tomada ante la imposibilidad de realizar balances sedimentarios, dado que no existen registros históricos de alturas del perfil de playa que permitan calcular volúmenes, y su estimación a partir de barra de paralaje con estereoscopio de espejos, genera un error que invalida el uso de esta técnica para estos fines.

A su vez, se analizaron los cambios de uso del suelo, la evolución de la colonización por juncos de la Punta del Descanso, y la significación estadística de sus tendencias.

6.5.2. Desembocaduras de los Arroyos Pando y Carrasco

Para medir los avances - retrocesos de las **líneas de costa** para ambas desembocaduras, se optó por usar un artefacto para determinar las pérdidas y ganancias entre una posición de la línea de costa considerada como año base y los polígonos que la excedían, o le restaban área por retroceso en relación a dicho año (Gutiérrez y Panario, 2005, 2006). El año base tomado para el Arroyo Pando fue la imagen de mayo del 2002, y para el Arroyo Carrasco fue la imagen del año 2008. A los efectos de determinar tendencias los resultados fueron graficados como una función acumulativa de ganancias-pérdidas entre períodos.

El artefacto consistió en dibujar sobre cada línea de costa tomada como **año cero** dos transectos perpendiculares a la costa y paralelos entre sí (T1 y T2), uno sobre cada lado de la desembocadura, para que funcionaran como límite externo (Figura 8). La elección

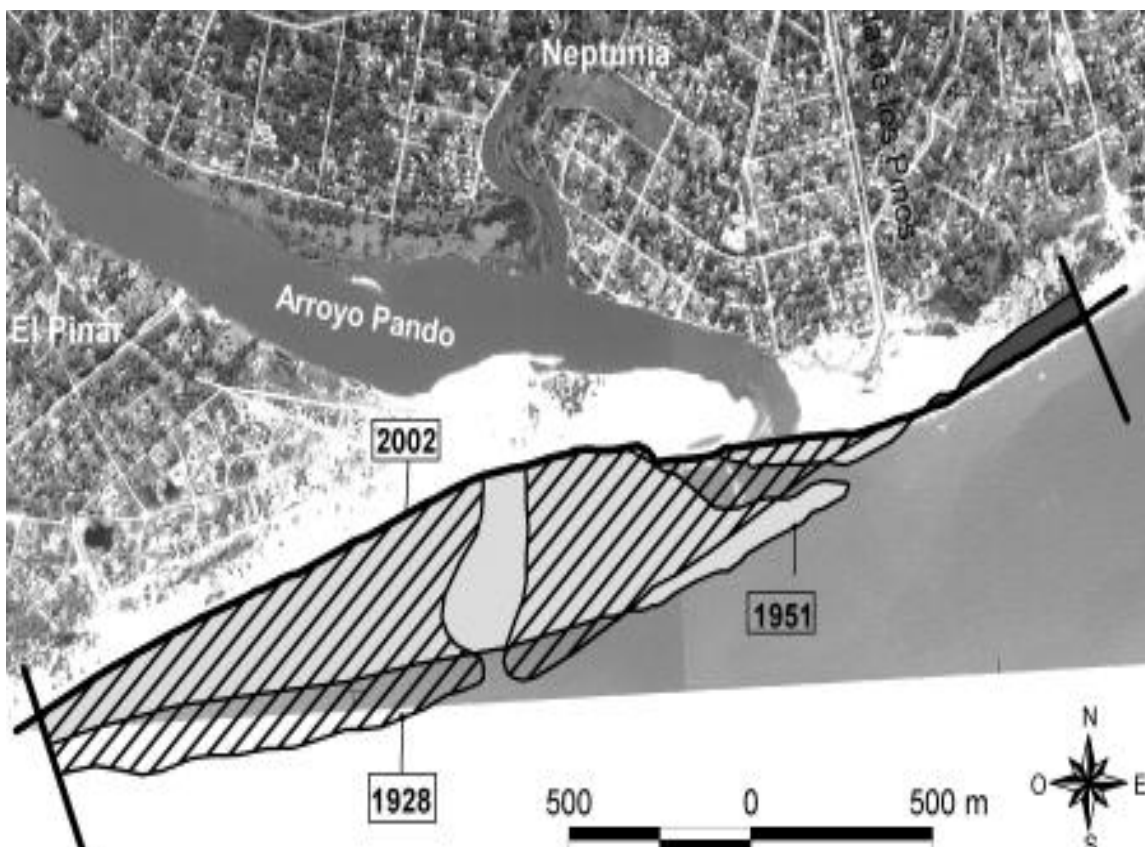


Figura 8. La línea negra gruesa señala la línea de base de mayo de 2002 con los dos transectos perpendiculares utilizados como artefacto para estimar las fluctuaciones, al intersecar con cada línea de costa. El área rayada muestra la posición de la desembocadura del A^o Pando para el año 1928. Por debajo, en color sólido gris claro se presenta el área que para el año 1951 se encontraba situada por delante de la línea de costa actual, y sobre la playa de Neptunia en color gris oscuro se indica la zona que para 1951 se posicionaba por detrás. Aerofotografía: mayo del 2002, Pyke & Cia. S.A.

de su ubicación espacial estuvo condicionada a que comprendieran entre ellos a todas las posiciones documentadas o inferidas para cada desembocadura. Además fueron situados donde se expresaba una disminución de las fluctuaciones entre las diferentes líneas de costa históricas. Un paso previo fue preparar todas las líneas de costa, mediante unir con una línea recta los puntos más cercanos entre ambos márgenes de la desembocaduras, a efectos de obtener líneas continuas.

Luego de efectuados estos preparativos, se procedió a intersecar una por una cada línea de costa con el artefacto preparado con la **línea de año base**. Posteriormente la(s) superficie(s) así delimitada(s) por líneas, se convierten en polígonos y se calcula el área en metros cuadrados, estimándose la pérdida, medida como superficie, entre las diferentes posiciones que la línea de costa ha tenido en el archivo de imágenes relevado (Figura 9).

Como algunas de las fotos no cubrían la totalidad del área, frente a la observación de que hacia los transectos T1 y T2 de los extremos Este y Oeste (que oficiaban de limite a

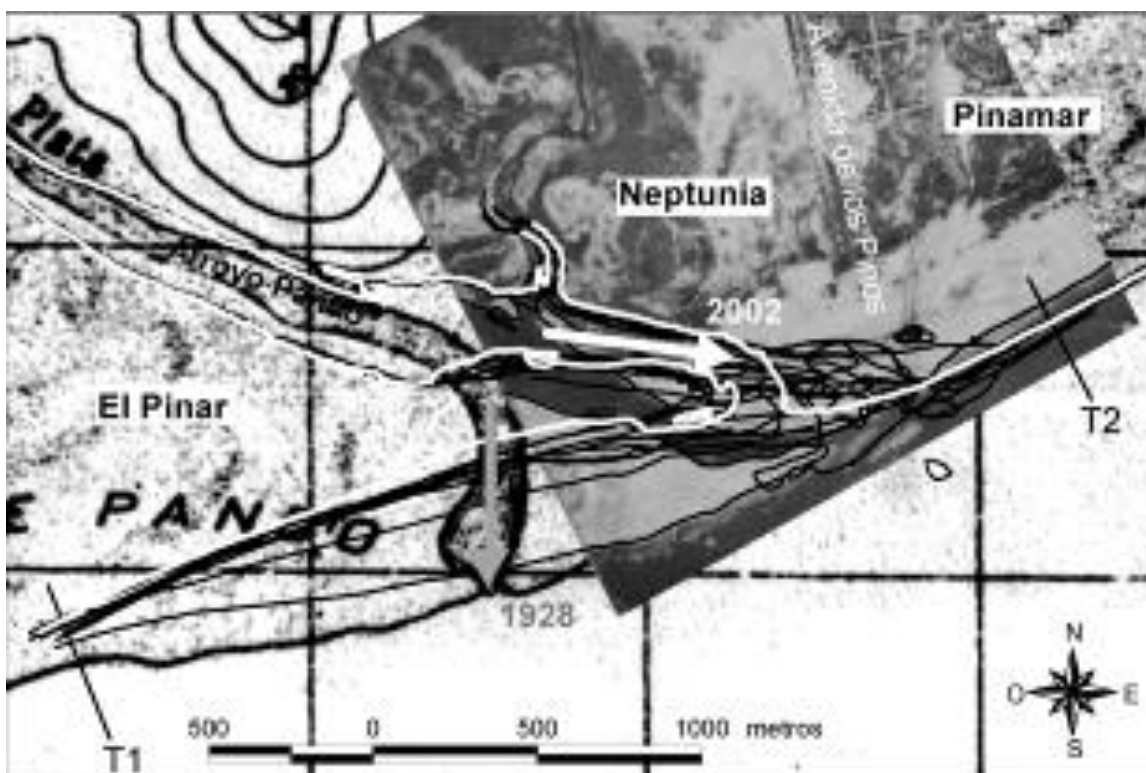


Figura 9. En blanco se dibuja la posición de la línea de costa para mayo del 2002, tomada como línea de base para realizar las medidas de pérdida-ganancia de "territorio" en la desembocadura del Arroyo Pando. Los transectos perpendiculares están indicados como T1 y T2. Para el período 1928 - 2002, se observa la superposición de las líneas de costa de las principales excursiones hacia el E de la desembocadura del Arroyo Pando. La flecha gris (1928) y la blanca (2002) muestran respectivamente las posiciones y el giro que tuvo la desembocadura en sentido antihorario, así como el marcado retroceso de la ubicación de la playa. Aerofotografía: 22 de octubre de 1951, SSRFAU. Cartografía: Hoja La Unión IX-29, esc.: 1:50.000, SGM, Ed. 1930, apoyo de campo del año 1928.

estas medidas), las líneas de costa convergían asintóticamente hacia una posición de la costa casi invariante, se procedió a reconstruir dicho trazado para aquellas vistas en las que no se disponía de la totalidad de la zona bajo análisis.

6.5.3. Construcción de índices de balance (retroceso - avance) de la línea de costa

Fueron construidos índices a efectos de poder establecer comparaciones cuantitativas entre los sitios de estudio, a partir de valores de cambios relativizados.

Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP): Construido a partir de relativizar el valor estimado por la tendencia de ganancia - pérdida en metros cuadrados de playa por año, mediante dividir esa magnitud por los metros lineales de línea de costa de cada playa (o sea establecer la pérdida en m^2 por metro lineal). A estos efectos se toma la línea de costa más reciente para cada una de las playas, usando cuando estaba disponible el *proxy* **LSH-ZAIO**, y en su defecto el **LMAP**. Para las desembocaduras fue usado el largo del artefacto preparado con la **línea de año base**. La intensidad de los procesos de pérdida o ganancia por metro lineal de playa fue agrupada en tres clases, a partir de considerar a los valores menores a ± 0.09 como cambios **leves**, entre ± 0.09 y ± 0.20 como **moderados**, y mayores a ± 0.20 como **fuertes**. Estos intervalos fueron establecidos a partir de valores de media y varianza (respectivamente) de los sitios en estudio. Este índice permite relativizar y tornar comparables los procesos que ocurren en playas y desembocaduras con distinto tamaño.

Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMSPA): Construido mediante calcular el porcentaje de diferencia entre el registro de mayor expresión de superficie que cada playa ha tenido (considerando toda la serie relevada) y su superficie actual; a partir de este índice se analiza la distancia entre el estado actual y el mejor escenario (real) posible para cada playa.

Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa (ITBSP): Construido a partir de la ecuación que define para cada gráfica la tendencia lineal del conjunto de datos, se calcula a partir de ponderar el valor teórico inicial y final para cada serie graficada. En cada caso, se toma como "100" el mayor valor teórico, usando por tanto el valor inicial para tendencias decrecientes y el final para tendencias crecientes, obteniendo de esa forma el porcentaje de variación de superficie entre dichos valores.

Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie (ITBSP relativizado por tiempo): Construido a partir de dividir por el período de años de la serie de datos utilizada para cada período, a los efectos de obtener números redondos fue multiplicado por mil y redondeado a número entero, consiguiendo por lo tanto unificar en pocas clases los valores obtenidos. Se consideran como procesos **fuertes** los valores iguales o mayores a ± 3 y **débiles** a los demás valores.

6.6. OTROS PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS

Se trabajó con bases de datos de parámetros físicos, meteorológicos y oceanográficos, para establecer correlaciones de las variaciones registradas en la posición de la línea de costa, con series de eventos que pudieran explicar los comportamientos observados.

Fueron analizadas las variaciones positivas (avances) de las líneas de costa en las desembocaduras correlacionándolas con períodos de altas precipitaciones durante las cuales se generan las condiciones para el transporte de sedimentos arenosos hacia el mar, los que fueron ingresados en los arroyos por las mareas o por el viento en los casos de ocurrencias de dunas próximas a las desembocaduras. Para ello se tuvo en cuenta datos de máxima pluviosidad en la cuenca de los mismos (series suministradas por Mario Bidegain).

A su vez, se compararon las posiciones de las líneas de costa, en especial las variaciones negativas (retrocesos) con las elevaciones del Río de la Plata, que son producidas por las grandes crecientes de los Ríos Paraná y Uruguay, en conjunto o separados (Camilloni y Barros, 2000, 2003; Menéndez y Berbery, 2006; Camilloni, 2009).

También fue analizada la serie histórica de grandes tormentas para la zona (series hasta el 1979: MTOP/PNUD/UNESCO, 1979; series 7 hasta el 2005: Bidegain *et al.*, 2005). También se analizaron estos datos combinados con la ocurrencia de crecientes excepcionales del nivel del mar (más de 3 metros sobre el cero Wharton).

A su vez, fue analizada la incidencia en la respuesta de la línea de costa (retroceso o avance) de los años que presentaban anomalías positivas de vientos (dirección, frecuencia y/o intensidad) y de los años sin anomalías o con anomalías negativas de vientos. Para este análisis fue utilizado el archivo de datos del NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) de NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center (Kalnay *et al.*, 1996), de donde fueron obtenidos los componentes **Zonal Wind (u)**¹³ y **Meridional Wind (v)**¹⁴, para el periodo comprendido entre enero de 1948 y noviembre de 2009 a nivel de superficie. También se usó el componente de **Precipitación Rate y Precipitation (udel)**. Esta base de datos utiliza un modelo de interpolación 3D para estimar el valor de las variables meteorológicas en las coordenadas solicitadas, a partir de la combinación de datos obtenidos de diferentes fuentes (estaciones meteorológicas, globos, satélites y datos sinópticos).

¹³/ Viento zonal - El viento, o el componente de viento, siguiendo el paralelo de latitud local, a diferencia del viento meridional. En un sistema de coordenadas horizontales fijas a nivel local con el eje x dirigida hacia el Este y el eje dirigido hacia el Norte, el viento zonal es positivo si sopla desde el Oeste y negativo si desde el Este.

¹⁴/ Viento meridional - El viento o componente del viento a lo largo del meridiano local, a diferencia de los vientos zonales. En un sistema de coordenadas horizontales fijas a nivel local con el eje x dirigida hacia el Este y el eje y hacia el Norte, el viento meridional es positivo si sopla desde el Sur, y negativo si desde el Norte.

6.7. MEDICIÓN DEL APORTE DEL CAMPO DE DUNAS AL ARROYO PANDO

El análisis de la extensión del frente del campo dunar de la desembocadura del Arroyo Pando, se realizó utilizando documentos antiguos y las fotos previas a la forestación. La delimitación se realizó por fotointerpretación con pares estereoscópicos, procediéndose a medir la longitud del campo de dunas en contacto directo con el arroyo.

Para el cálculo del volumen de arena, se utilizó el modelo de Fryberger *et al.* (1984) a los efectos de estimar la resultante de transporte por metro lineal de contacto, según la fórmula:

$$UV = [V^2(V-V_t)]/100 \times t$$

- UV = unidades vectoriales,
- V = velocidad del viento,
- V_t = umbral de velocidad requerido para comenzar a mover arena
- t = número de mediciones en un tiempo dado.

Las unidades vectoriales son convertidas a m³ m⁻¹ año⁻¹ con la relación propuesta por Fryberger *et al.* (1984) donde 14 UV son equivalentes a 1m³ m⁻¹ año⁻¹, utilizando el ajuste realizado por Panario y Piñeiro (1997) para nuestras condiciones.

Se realizó la estimación cuantitativa de las diferencias de los volúmenes transportados, antes y después de la forestación y urbanización de las dunas, así como una estimación de los aportes que aún se realizan a partir de la barra arenosa ubicada en la margen de El Pinar.

Fue realizado a su vez un relevamiento del uso del suelo en la serie de fotos obtenidas, forestación y urbanización, cuando las mismas alteraban el normal intercambio de arena. Se tomaron muestras del canal del Arroyo Pando a los efectos de caracterizar la competencia en el transporte actual de sedimentos. Se realizó también un análisis de la documentación de obras de infraestructura propuestas y/o realizadas, en los archivos de la Dirección de Hidrografía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas entre otros documentos.

6.8. OTRAS ACTIVIDADES.

Se procedió a través de fotointerpretación de series históricas, a cartografiar y cuantificar los cambios de uso del territorio a los cuales pueda atribuirse cambios en la dinámica sedimentaria de los arcos de playa.

Fueron realizadas topografías de detalle de las playas en estudio de Montevideo.

7. BREVE CARACTERIZACIÓN DE LAS PLAYAS EN ESTUDIO

Las playas uruguayas son ambientes micromareales, desde el punto de vista de la disipación de energía, siguiendo la propuesta de Dean (1982) y utilizando el parámetro omega (H_b/WT) donde H_b es la altura significativa, W es la velocidad de caída del sedimento y T el período de ola. Valores inferiores a 1 están asociados a playas reflectivas, valores entre 1 y 6 a estados intermedios y superiores a 6 a playas típicamente disipativas. Panario *et al.* (2008b) aplican el parámetro omega a las cuatro playas urbanas y en su totalidad se comportan como intermedias a disipativas para las condiciones promediales de mar ($46\text{cm}/(2\text{cm}\cdot\text{s} \times 4.4\text{s})=5.2$) si bien como se indicará, las condiciones locales no reflejan esa clasificación en todos los casos.

Las playas del estuario medio contienen sedimentos arenosos subactuales, con ocasionales lentes gravillosos, erosionados, transportados y redepositados en el entorno de la línea de costa por las olas. Los sedimentos derivan de cuatro principales: i) arenas y gravas estuáricas, ii) aluviones autóctonos subactuales, iii) atritos del basamento cristalino, y iv) material bioclástico (conchillas), además para Montevideo, de escombros provenientes de diversas obras (depósitos tecnogénicos o Quinario). Los sedimentos son luego parcialmente retransportados por la acción eólica, el escurrimiento y en Montevideo la acción antrópica, fundamentalmente en tareas mecanizadas de mantenimiento (Panario *et al.*, 2008a, 2008b).

La dirección del oleaje más frecuente es del SE (35%) seguida del E (24%), el S (20%), W y SW con <10% y NW, NE y N <5% (Panario *et al.*, 2008a, 2008b). Se expresa en forma gráfica en la rosa e histograma de rumbos adjuntos (Figura 10).

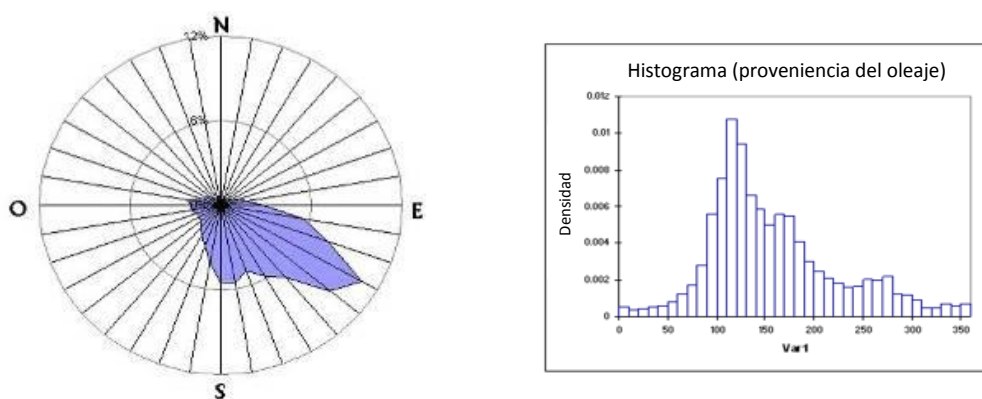


Figura 10. Rosa de distribución del oleaje e histograma de rumbos de proveniencia del oleaje del sensor de Punta Brava (periodo 23/12/2003 al 22/5/2006), sobre base de datos del Convenio IMM-IMFIA (Panario *et al.*, 2008b). La serie utilizada comprende datos de diciembre 2003 a junio del 2006, y aunque puede sesgar el rumbo del oleaje, es la única disponible para la zona, por lo que se entendió pertinente su uso. Es de destacar que más allá de que la mayor parte del tiempo, el oleaje responde al swell, la dirección predominante obtenida es coincidente con la dirección de los vientos predominantes E-SE, particularmente durante el período estival.

La siguiente caracterización de las playas urbanas se basa en el trabajo de Panario *et al.* (2008a, 2008b):

7.1 RAMÍREZ

Ramírez es una playa disipativa, de perfil cóncavo y suave pendiente (1,9^o) que se acentúa hacia el extremo Norte con un máximo de 2.7 grados entre las cotas 0,5 y 1,5 msnm (metros sobre el nivel medio del mar), con un sector húmedo de 10 a 15 metros de ancho, y uno seco del entorno de los 65m, medidos ambos en su sector medio. Expone más de 100 metros suplementarios de playa en condiciones de bajante. Carece de duna primaria y se encuentra limitada por la rambla costanera y espigones en ambos extremos. La dirección normal a su tangente es N68^oE (Figura 11).

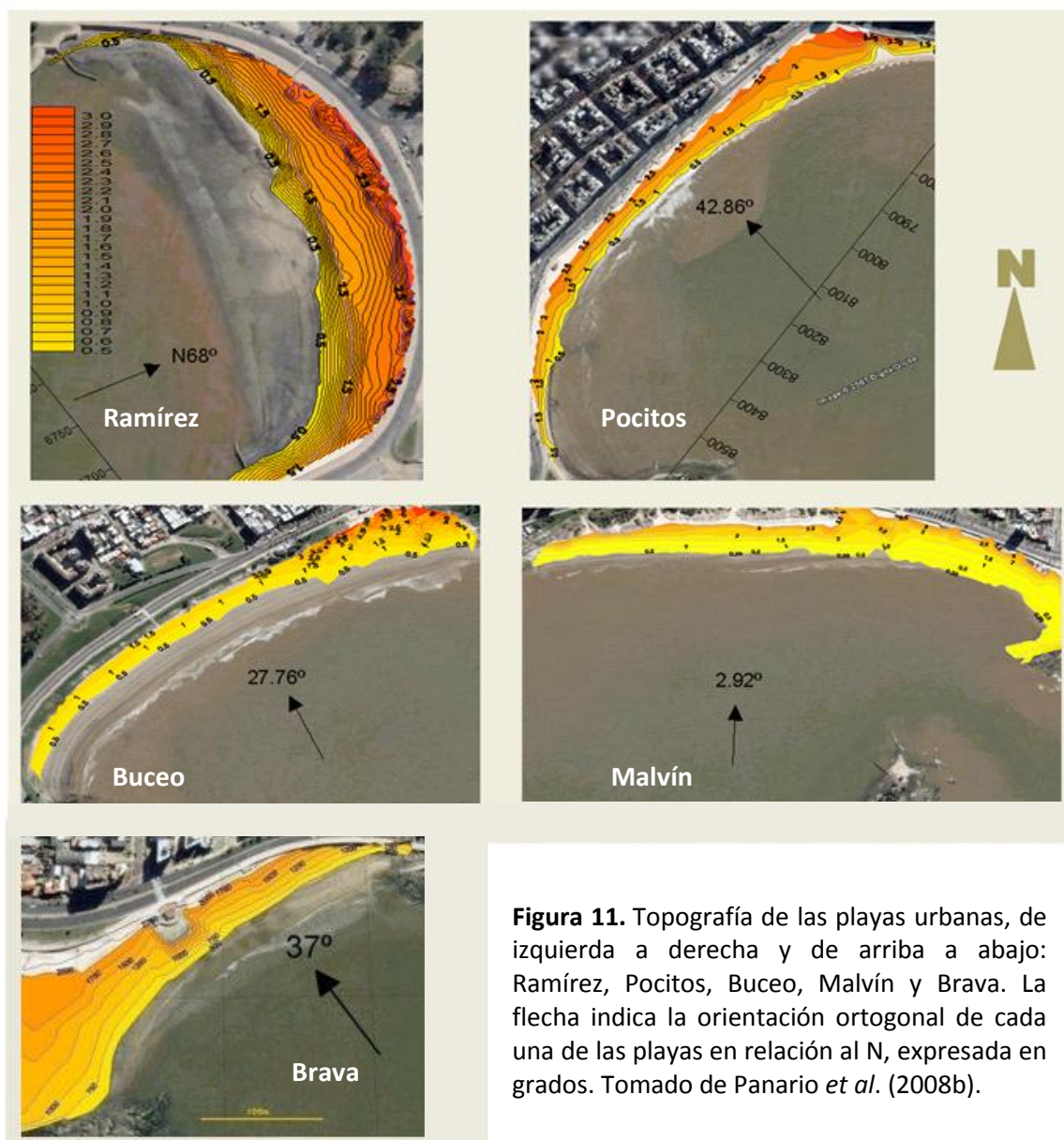


Figura 11. Topografía de las playas urbanas, de izquierda a derecha y de arriba a abajo: Ramírez, Pocitos, Buceo, Malvín y Brava. La flecha indica la orientación ortogonal de cada una de las playas en relación al N, expresada en grados. Tomado de Panario *et al.* (2008b).

7.1.1. Composición mineralógica

Las arenas de Ramírez son arenas medias cuarzo feldespáticas con anfíbol y piroxeno (Tabla 3), como minerales accesorios principales, la mineralogía se asemeja a la esperable a partir de gneises y anfibolitas de la Formación Montevideo *sensu* Preciozzi (Preciozzi *et al.*, 1985).

A continuación de Ramírez, en dirección a Pocitos, existe un arco de costa rocosa sin playa, limitado por la Punta de las Carretas o Punta Brava y otro arco de costa rocosa entre ésta y la Punta de Trouville (Figura 12), ambos arcos rocosos a pesar de tener un gradiente de profundidad suave, casi carecen de costa con arena y cuando la misma está presente, se trata de retransporte de materiales quaternarios provenientes de diversas obras como terraplenados y ataguías. Se trata de una costa erosiva *sensu* Shepard (citado en Thurman, 1994).

7.2. Pocitos

Pocitos es un arco de playa delimitado por dos puntas rocosas (conocidas como Trouville y Kibón) es de perfil convexo hacia la berma y suave pendiente (1,8°), que se acentúa hacia el extremo norte (2,6° entre las cotas 0,5 y 1,5m), concomitante con su evolución en esa dirección de disipativa a intermedia. Carece de duna primaria y se encuentra limitada por la rambla costanera, con un sector húmedo en su parte media de 10 a 15 metros de ancho y uno seco de 65 metros de ancho. La dirección normal a su tangente es N43°W (Figura 11).

7.2.1. Mineralogía

Las arenas de Pocitos son arenas medias cuarzo feldespáticas con anfíbol y piroxeno como minerales accesorios principales (Tabla 4). La mineralogía se asemeja a la esperable a partir de gneises y anfibolitas de la Fm. Montevideo *sensu* Preciozzi (Preciozzi *et al.*, 1985).

Tabla 3. Composición granulométrica de las arenas de Ramírez.

n=100 x 5		
<i>Minerales</i>	avg	std
cuarzo	58.2	3.3
feldespato	26.0	6.5
Anf + Px	8.8	5.5
biotita	3.2	4.3
otros	1.5	1.6
granate	0.6	1.3
circón	0.6	0.9
opacos	0.4	0.9
calcita	0.4	0.5
sillimanita	0.4	0.9

Tabla 4. Composición granulométrica de las arenas de Pocitos.

n=100 x 5		
<i>Minerales</i>	avg	std
cuarzo	65.5	10.6
feldespato	23.8	9.7
Anf + Px	5.1	2.1
biotita	0.8	0.8
otros	2.9	1.9
granate	0.4	0.9
circón	1.0	0.7
opacos	0.6	1.3
calcita	0.0	0.0
sillimanita	0.4	0.9

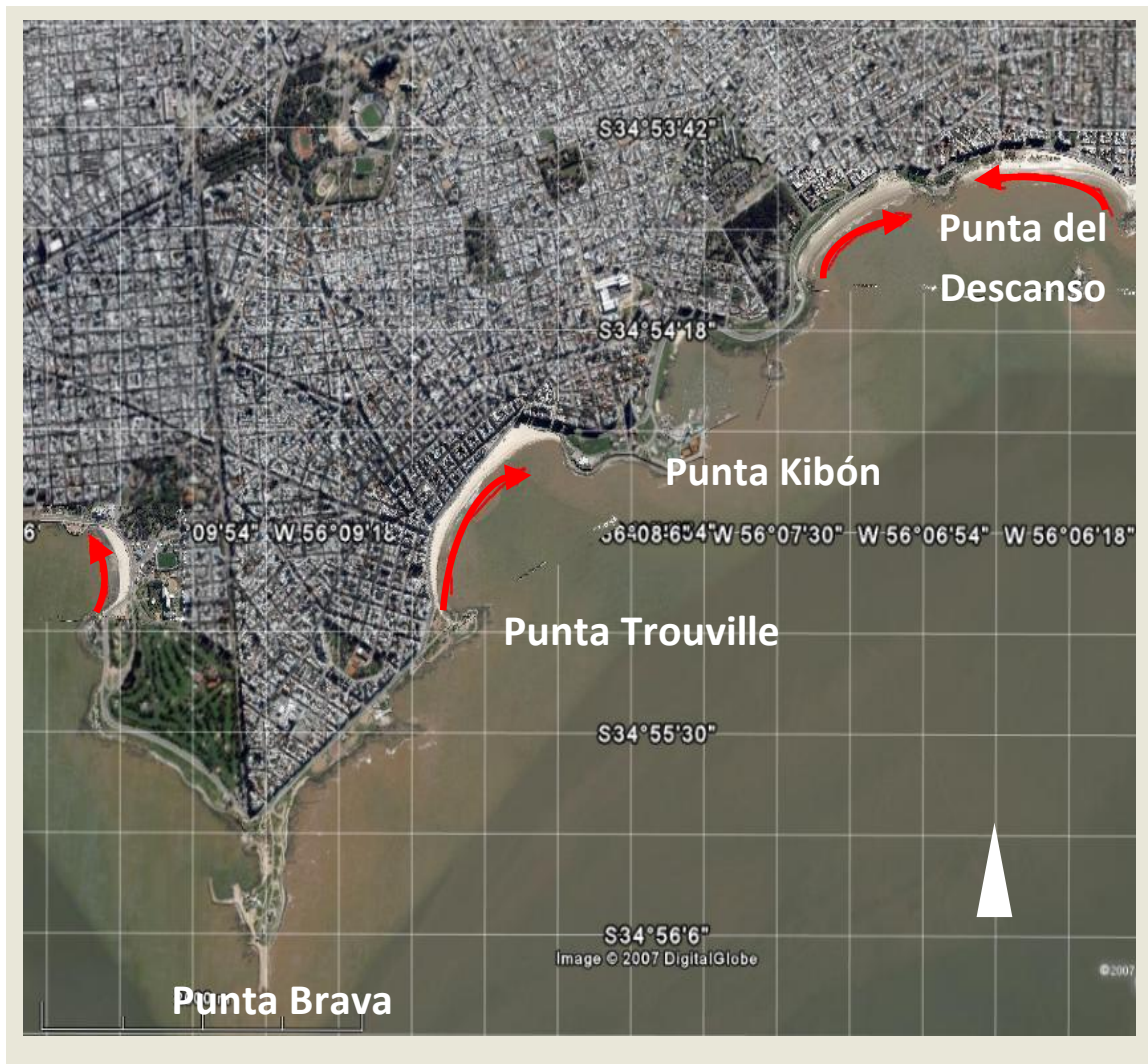


Figura 12. Interpretación de las tendencias granulométricas en términos de deriva litoral dominante para las playas de Ramírez, Pocitos, Malvín y Buceo (en orden de W a E).

7.3. BUCEO

Buceo es una playa enteramente disipativa, prácticamente húmeda en toda su extensión en el invierno y de perfil erosivo predominantemente cóncavo, de suave pendiente (que varía entre 1,9 y 2,2 grados de W a E) con arenas cuarzosas compactadas de granulometría fina y pendientes. Presenta protodunas hacia el Este que es donde con más frecuencia existe una zona con playa seca; y una duna primaria en formación hacia el parador hacia el W. Existen restos de estructuras y varios púlvales. La dirección normal a su tangente es N28°W (Figura 11, pág. 30).

7.3.1. Mineralogía

Las arenas de *Buceo* son arenas finas y su composición mineralógica es cuarzo feldespáticas, con muy escaso anfíbol y piroxeno y también con muy escasos puntos de granate, opacos y calcita (Tabla 5). Han sido observados circón, estaurólita, leucóxeno y un punto de anfíbol sódico y de calcedonia botroidal.

La mineralogía difiere a la encontrada en las playas anteriores tanto por el contenido elevado en cuarzo y feldespato como por el escaso contenido en ferromagnesianos.

7.4. MALVÍN Y BRAVA

Malvín se puede considerar dividida en dos arcos, uno perteneciente a Malvín (en sentido estricto) y el otro a la denominada Playa Brava, separados por un tómbolo denominado Punta del Descanso. El arco de playa denominado Malvín es una playa disipativa a intermedia y la segunda es reflectiva a intermedia. Presentan una pendiente de 2,4 grados en el sector en que se reconstruyó la duna primaria en el año 1991 y que varía entre 2,2 y 1,9 grados en el resto de la playa con perfil en este sector cóncavo, denotando que es un perfil erosivo. La dirección normal a su tangente es N3°E (Figura 11, pág. 30). La playa Brava incluye antiguas estructuras edilicias cercano a la Punta del Descanso y un colector en desuso de 100 metros de largo en su extremo E. Presenta una pendiente entre 2,2 y 2,8° grados, siendo en el sector próximo al tómbolo relativamente alto (hasta 2,5 msnm) y levemente convexo, con arena seca, que evoluciona a una playa baja, cóncava y de arena húmeda en el sector E, donde el oleaje expuso la pared exterior del antiguo colector instalado a comienzos del siglo XX. La dirección normal a su tangente es N37°W.

7.4.1. Mineralogía

Las arenas de Malvín son arenas medias cuarzo feldespáticas, con muy escaso anfíbol y piroxeno, calcita, opacos y puntos de granate, circón, turmalina, andalucita y epidoto (Tabla 6). De la diversidad mineralógica se deduce un origen no local de parte de

Tabla 5. Composición granulométrica de las arenas de Buceo.

n=100 x 5		
<i>Minerales</i>	avg	std
cuarzo	74.8	3.5
feldespato	20.3	2.4
Anf + Px	0.3	0.6
biotita	0.0	0.0
otros	3.9	0.2
granate	0.4	0.5
circón	0.2	0.4
opacos	0.4	0.9
calcita	0.0	0.0
sillimanita	0.0	0.0

Tabla 6. Composición granulométrica de las arenas de Malvín

n=100 x 5		
<i>Minerales</i>	avg	std
cuarzo	69.5	8.8
feldespato	25.2	5.9
Anf + Px	0.7	0.5
biotita	0.2	0.4
otros	3.2	3.4
granate	0.4	0.9
circón	0.2	0.4
opacos	0.2	0.4
calcita	0.0	0.0
sillimanita	0.2	0.4

la muestra, atribuible a rocas y sedimentos en parte del W y mayoritariamente del E, como cuarzo de tono celeste que se considera diagnóstico de esa proveniencia. Otra fuente de sedimentos la representarían las arenas cuaternarias poco consolidadas de color rojo o amarillento, cuya aparición frecuente a nivel de la berma estaría denotando que parte de la arena de reposición es actualmente de este origen.

7.5. PLAYAS DE LA DESEMBOCADURA DEL ARROYO CARRASCO

Las playas *Carrasco* y *San José de Carrasco* ubicadas al W y E respectivamente de la desembocadura del Arroyo Carrasco son disipativas a intermedias. Las direcciones normales a las tangentes de los tramos de playa ubicados adyacentes al W y E de la desembocadura son N26,3°W y N36°W respectivamente. San José de Carrasco, presenta una duna primaria degradada, con cortes y formación de *blowouts*.

7.5.1. Mineralogía

La composición mineralógica de esta playa es similar a Malvín y denota que la fuente principal es la deriva del E.

7.6. PLAYAS DE LA DESEMBOCADURA DEL ARROYO PANDO

Las playas *El Pinar* y *Neptunia* ubicadas al W y E de la desembocadura del Arroyo Pando son disipativas, evolucionando de disipativa a intermedia en El Pinar al alejarse de la desembocadura. El Pinar presenta dunas en toda su extensión con abundantes cortes, vinculables mayoritariamente a bajadas peatonales a la playa, en donde se forman *blowouts*.

La duna primaria ha desaparecido en toda su extensión, aunque muestra en algunos puntos señales de recuperación vinculadas generalmente a obras de mantenimiento (vallados). Las direcciones normales a las tangentes de los tramos de playa ubicados adyacentes al W y E de la desembocadura son N24°W y N17,3°W respectivamente para el año 2002. Mientras que para el año 1928 las direcciones normales a las tangentes de los tramos de playa ubicados adyacentes al W y E de la desembocadura eran N9,2°W y N27,3°W respectivamente; y para el año 1960 (usado para los cálculos de aportes directos de las dunas al curso) las direcciones normales a las tangentes de los tramos de playa ubicados adyacentes al W y E de la desembocadura eran N14,5°W y N31,2°W respectivamente.

7.6.1. Mineralogía

Por su mineralogía, al igual que las anteriores, Neptunia y El Pinar, denotan deriva del E como fuente principal.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Como ya se mencionó que expresaran Boak y Turner (2005), para comprender las tendencias actuales se debe elegir una escala temporal adecuada, o necesariamente se combinaran procesos de diferente origen que pueden no ser funcionales a la dinámica actual, por ello se destaca la complejidad de la elección de la extensión de las series a analizar, es decir, ¿cuánto podemos remontarnos hacia el pasado, y aún estar analizando el mismo sistema?; ¿porqué cuando se analiza información antigua en playas de centros urbanos fuertemente consolidados, o en zonas con intervenciones que han modificado la dinámica del ciclo de la arena, es importante tener en cuenta que las perturbaciones provocadas por esas intervenciones, pueden haber generado cambios de tipo cualitativos, y se podría estar, desde el punto de vista de su dinámica, frente a otro sistema?.

En efecto, durante el siglo XIX y también a comienzos del siglo XX, algunas playas presentaban dimensiones y estructura en planta completamente diferente a la que se



Figura 13. La Rambla Sur de Montevideo, en construcción hacia 1930. Se aprecian las playas desaparecidas y el contorno de la por entonces futura terraza al mar, ubicada frente a Juan D. Jackson y Eduardo Acevedo. Foto: CMDF-IMM.

observa a partir de mediados del siglo XX, y por tanto, si incorporamos esta cartografía e incluso alguna foto aérea muy antigua a nuestro análisis tendencial, en realidad estaríamos uniendo tendencias que responden a diferentes procesos, tanto por cambios en tendencias climáticas en el caso de los datos anteriores a 1850 (fin de la denominada *"Pequeña Edad del Hielo"*, según Politis, 1984), como por el efecto de acciones antrópicas severas. Entre los efectos de las últimas, se encuentran el relleno de sectores de arcos de playa o playas enteras, como ocurrió en el caso de la construcción de la denominada Rambla Sur (que se trazó uniendo de manera lineal la playa Ramírez y la Bahía) y sin duda modificó el transporte de sedimentos, más teniendo en cuenta que la mayor parte del relleno se realizó por refulado (relleno artificial) de arena de las proximidades del lugar (Figura 13 y 14).



Figura 14. La Rambla Sur, consistió en 4.000 metros de rambla desde la calle Jackson hasta la escollera Sarandí, su construcción se realizó sin respetar la forma de la costa ni las dos playas existentes (Santa Ana y Patricios, una de las cuales formaba parte de la original configuración original de Ramírez), e insumió unos 500.000 m³ de arena y piedra. Obsérvese como en la foto de abajo, la flecha blanca señala una de las playas que quedaría luego tapada por el relleno. Fotos: CMDF-IMM.

8.1. RAMÍREZ

8.1.1. Antecedentes históricos

La cartografía de los años 1849¹⁵ y 1883¹⁶ de la Marina Inglesa y de 1867¹⁷ (con recubrimiento parcial) de la Marina Francesa, representan a la playa Ramírez con una forma más abierta que la presente y extendida hacia el NW (unos 800 metros de largo, aproximadamente el doble que lo actual), y con una ensenada en ese extremo. A su vez se podía observar la existencia de dos cursos fluviales (Figura 15), el principal de ellos denominado de la Estanzuela en una carta topográfica de 1846¹⁸.



Figura 15. Detalle de la cartografía de 1867 de la Marina Francesa, obsérvense los dos cursos de agua que desembocaban en la playa Ramírez y la profundidad de la batimetría frente a la punta rocosa. Las medidas de las sondas están expresadas en pies franceses (equivalente a 0,3248 m). Fuente: carta francesa, MTOP.



¹⁵/ *Montevideo Bay*, surveyed by C.H. Dillon Master R.N. and other Officers of Her Majesty's Navy, 1849. Hydrographic Office of the Admiralty. London. (Archivo personal Dr. Loïc Menanteau).

¹⁶/ *Montevideo Bay*, surveyed by Captain W.J.L. Wharton, R.N. and Officers of H.M.S. Sylvia, 1883. Hydrographic Office of the Admiralty. London. (Archivo personal Dr. Loïc Menanteau).

¹⁷/ *Plano de la ciudad de Montevideo, capital de la República Oriental del Uruguay y de sus alrededores hasta el paso del Molino, el camino de Larrañaga y el arroyo de los Pozitos. Aumentado con los planos de los pueblos del Cerro y de la Victoria.* Levantado y publicado en 1867 por el Agrimensor de número que suscribe, ex-oficial de la Marina de Guerra Francesa. (Archivo Geográfico, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, MTOP).

¹⁸/ *Plano topográfico de la ciudad y cercanías de Montevideo. En el que se demuestra las posiciones de las fuerzas de la plaza y las del ejército sitiador.* Levantado por el Agrimensor D. Pedro Pico, 1846. (Mapoteca, SGM).

La cartografía de 1849 y 1883, confirman los agresivos procesos a los que estuvieron sometidas las playas montevideanas, en una época en que seguramente se las veía como una fuente de áridos para la construcción.

Si bien en Ramírez no se han ubicado aun relatos que lo atestigüen, es posible que esta playa haya sido utilizada como una de las primeras fuentes de arena para la construcción del casco antiguo de Montevideo, como lo fue con posterioridad Pocitos.

La línea de costa en 1849, tomada la medida en el centro de lo que hoy es Ramírez, se encontraba progradada en el orden de los 200 metros. Un dato curioso, y que reafirma esta información, es la existencia en algunos catastros de la IMM (archivo *manzanas.dwg* del 25/07/2007), de padrones ubicados en esta playa, que ahora están bajo el agua, y que estaban situados a ambos lados de la desembocadura de la vía de drenaje que pasaría ahora por debajo del actual parque de diversiones (Figura 16). Para los registros fotográficos de 1927 y 1929, ya el retroceso se había producido. La carta del SGM de 1929¹⁹, realizada con relevamientos en el año 1920, registra la playa también después de la construcción de la rambla de Ramírez. El hiato de documentación existente entre 1886 y el 1920 no ha permitido generar aun una reconstrucción de los ritmos de esta evolución, pero esta situación explicaría, la temprana construcción de espigones y rompeolas, y la pendiente extremadamente baja de la playa subacuática, que en realidad era subaérea hasta finales del siglo XIX, en tanto, la actual ubicación está por detrás de la playa de ese siglo.

Los dos arroyos que desembocaban en ella, contribuirían a la recirculación de la arena del campo de médanos existente en la zona, cuya existencia aun está presente en la toponimia en la calle Médanos, que en planos antiguos se denominaba “Camino a los Médanos”. Esta recirculación fue interrumpida tempranamente, a fines del siglo XIX, cuando sobre el propio arco de playas se construyó la rambla que la circunvala, y a su vez, se realizó un relleno donde se delimitaron dos manzanas sobre las que se emplazó el Parque Hotel (actual sede del Mercosur) y unos galpones de grandes dimensiones.

Concomitantemente fueron entubados los arroyos, uno de ellos a su vez fue represado, y por donde corría su cauce actualmente se encuentra emplazado el denominado “Lago del Parque Rodó”. Este primer trazado de la rambla en Ramírez (Figura 17), confinó la playa a un arco con forma de medialuna, con la presencia de un gran descanso sobre la propia playa (que luego fue retirado) y una parte de su bahía al NW, quedó aislada como una pequeña playa (observable aún en una carta del SGM de 1920²⁰), presumiblemente fue en ese momento que se produjo el retroceso de la línea de costa.

¹⁹/ *La Barra*. Cartas del Uruguay al 1:50.000. Hoja X-29 Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados antes de 1920. Edición 1929. (Mapoteca, SGM).

²⁰/ *Cerro*. Carta del Depto. de Montevideo. Escala 1:20.000. Hoja D. Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados para la zona de interés entre 1918-1919. Edición 1920. (Mapoteca, SGM).

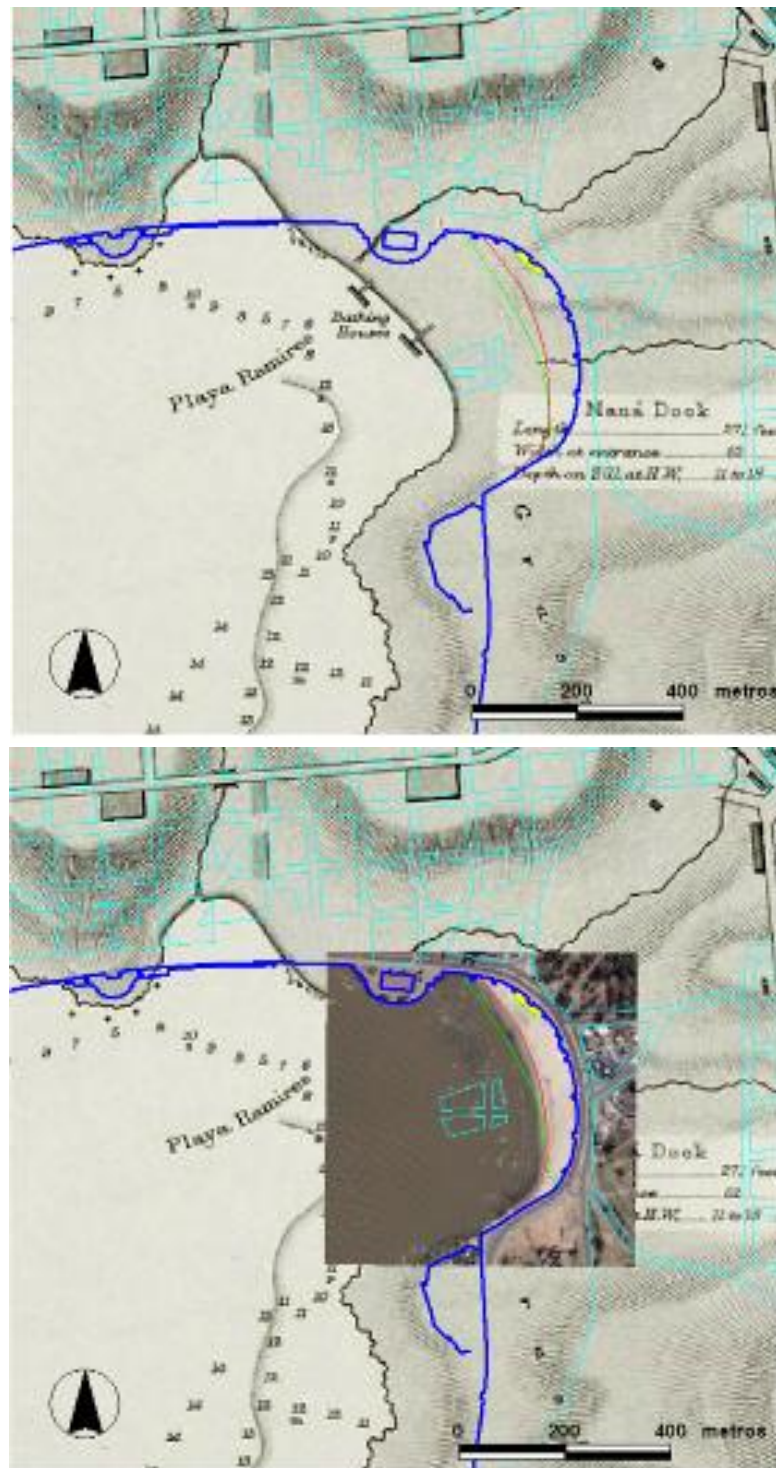


Figura 16. Sobre la carta de 1849 de la Marina Inglesa, se superponen los archivos de amanzanamiento (turquesa), de ubicación actual de la rambla (azul), las líneas de costa trazadas por LSH-ZAIO de 1927 (verde) y de 2008 (roja), el antiguo descanso de principios de siglo XX (amarrillo). Imagen superior: se ven las antiguas construcciones para baños. En la carta de 1883 del mismo origen, el arroyo desemboca en la propia playa pasando entre los padrones. Imagen inferior: se superpone también la foto de 2008. Obsérvese la ubicación de los padrones, hoy en el agua. Nótese el retroceso que ha tenido la playa, el cambio de forma y orientación. Fuentes: Archivos cad y foto 2008, IMM; carta inglesa, archivo personal de Loïc Menanteau; líneas de costa, elaboración propia.



Figura 17. Arriba: La playa Ramírez en la década de 1890, donde existían grandes construcciones para los baños sobre la propia playa (ver Figura 16). Abajo: Vista de la playa Ramírez en el año 1919, al fondo puede observarse el muro de la primera rambla. Foto: CMDF-IMM.

Este conjunto de acciones impactaron sobre la playa Ramírez, al dividir lo que originalmente era una unidad funcional consistente en un arco de playa con un pequeño tómbolo transparente a la circulación de arena. Luego el sector NW de playa fue eliminado al quedar posteriormente tapado por la construcción de la Rambla Sur, por el año 1930. Para el relleno de la misma se utilizó arena refulada ubicada en las cercanías, disminuyendo el stock de sedimentos disponible para la Ramírez, y alterando por tanto el ciclo de la arena.

8.1.2. Evolución de la superficie de playa Ramírez y su dinámica

La playa Ramírez se encuentra actualmente, confinada entre el “nuevo” gran descanso al NW y los espigones que la cierran a ambos lados del arco, lo que la ha transformado en una playa caracterizada por un funcionamiento de *pocket beach* (playa de bolsillo), y por tanto las pérdidas de sedimentos son casi exclusivamente hacia la costanera en los sitios donde se emplazan las escaleras. El arco en su parte externa no se acompasa a la forma típica de un espiral logaritmo, como lo sería su forma natural, sino que tiene en planta una curvatura mayor, de donde los temporales lo afectan principalmente en ambos extremos.

La playa Ramírez en la rompiente manifiesta una tendencia a granos más finos en el sentido NS, acompañada por igual tendencia en la berma, lo que indicaría un dominio de la dirección de la deriva asociado a los vientos fuertes (del SW) lo que se suma a su resguardo de las olas de mar de fondo (del SE, Figura 12, pág. 32) lo que hace que casi no tenga olas en condiciones de vientos locales calmos.

De lo anterior se deduce que actualmente recoge la arena existente entre el Puerto de Montevideo y las inmediaciones de Punta Brava, mientras el intercambio con Pocitos es al menos muy escaso en la medida que por delante de Punta Brava o De Las Carretas, las isóbatas de 3 y 5 metros respectivamente están muy próximas entre sí y a la costa.

Para su análisis se toma como fecha inicial la imagen del año 1927, correspondiente al primer registro fotográfico en el cual ya el arco de playa se encuentra con una configuración similar a la actual. Los primeros análisis tendenciales de Ramírez realizados con una serie de 15 imágenes (período 1927-2007) denotan que esta playa no muestra cambios muy importantes, aunque su tendencia es decreciente en la superficie de arena expuesta para todo el período para los dos indicadores de línea de costa usados: **línea de marea alta previa (LMAP)** y **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)** (Figura 18).

En una segunda etapa de análisis se completó una serie de 23 imágenes (1927-2008) y el análisis tendencial indicó una tendencia significativa de pérdida de superficie al 98% (Figura 19, arriba). Vista la similitud de resultados de significación estadística que se obtuvieron usando ambos *proxy* de línea de costa con la serie de 15 imágenes (Figura 18), este análisis se realizó sólo usando **LSH-ZAIO**. En la hipótesis de que la configuración más similar a la playa actual, de la que tenemos registro fotográfico, comienza con la imagen de 1945, quitamos del análisis las fotos de 1927 y 1929, pasando los valores de la tendencia a la pérdida de superficie a ser altamente significativos ($p < 0,001$) (Figura 19 abajo).

Del análisis multitemporal de Ramírez, dependiendo del período considerado, surge como resultado principal, que el área tiende a disminuir, entre $44 \text{ m}^2/\text{año}$ (1927-2007) con una tendencia de baja significación estadística ($p = 0,19$) y $126 \text{ m}^2/\text{año}$ (1945-2008)

con una tendencia altamente significativa estadísticamente ($p = 0,001$). El **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza la pérdida - ganancia por el largo de la línea de costa, tipifica a los cambios como **moderados**, y como **fuertes** cuando se analiza la playa a partir de 1945 (Tabla 7). Debe señalarse que a partir del registro fotográfico de 1927, se produce un proceso de crecimiento de la superficie del arco de playa, con una expresión máxima en el año 1961, a partir del cual se producen varias fluctuaciones hasta llegar a la situación actual. Lo que es marcado también por el **Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie (ITBSP relativizado por tiempo)**, que caracteriza como **fuertes** las pérdidas de superficie para las series 1945-2007 y 1945-2008.

En todos los casos (incluso usando la primer serie, Figura 20), la mayor significación estadística que se obtiene al retirar del análisis las fotos de 1927 y 1929, da sustento a la hipótesis de que las mismas corresponden a otro estado de configuración de la playa, vinculado a las modificaciones realizadas en Ramírez a comienzos del siglo XX, que hacen que para intentar analizar la tendencia actual sea más confiable utilizar la primer imagen disponible (año 1945), en que aparecen expresadas las construcciones que le

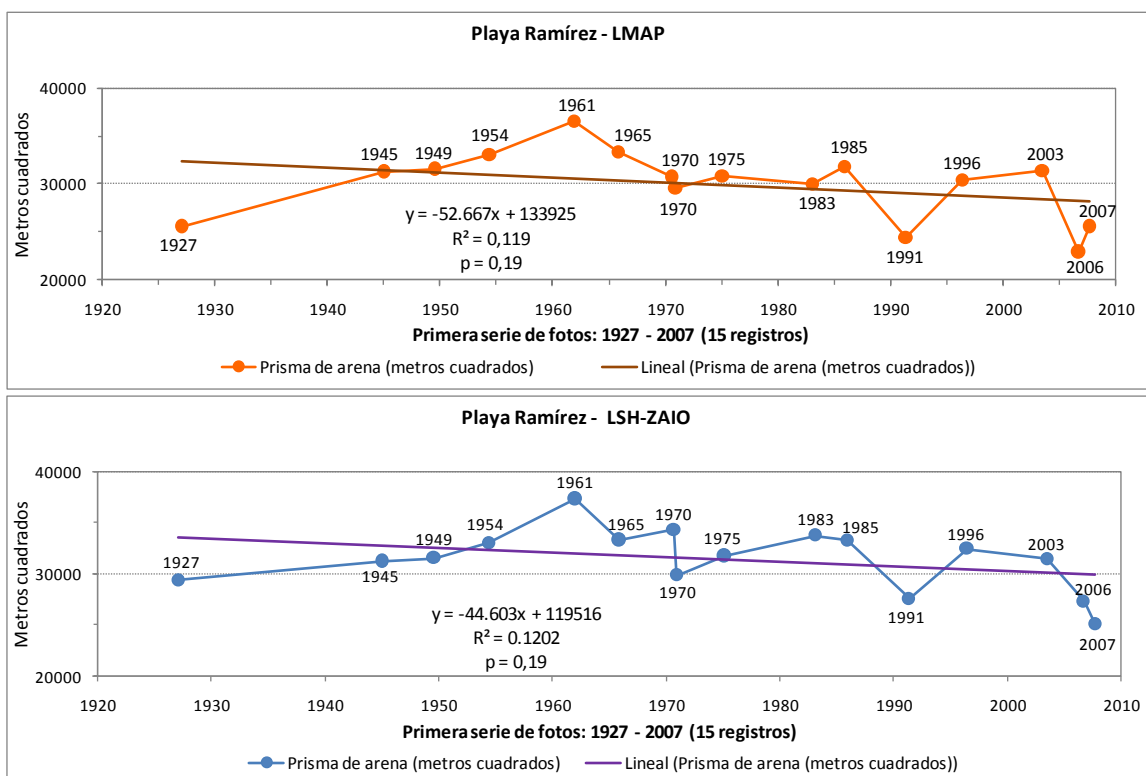


Figura 18. Evolución histórica de la superficie del arco de playa, entre el año 1927 y setiembre del 2007, confeccionado con la primer serie de fotos obtenida (15 registros). Arriba: por **línea de marea alta previa (LMAP)**. Abajo: por **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**. La línea de tendencia por regresión lineal indica un retroceso de la superficie de playa débil, pero sostenido en el tiempo y estadísticamente significativo al 81%.

Tabla 7. Resultados obtenidos de los Índices de balance (retroceso - avance) de la línea de costa. Con *negrita* en *proxies* se señalan los **valores positivos** y en probabilidad estadística los resultados con grados de significación >90%. En el **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** la celda *blanca* indica valores **leves**, *celeste* los **moderados** y *verde* los **fuertes**. En el **Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa (ITBSP)** en *lila* se distinguen los procesos **fuertes**, y en el **Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie (ITBSP relativizado por tiempo)** en *naranja* se señalan los procesos **fuertes**.

Sitio	Período	Nº de Registros	Pérdida en m2/año según proxies			Probabilidad estadística	Índice G/P Playa m2/m LC	Índice DMSPA %	Índice TBSP %	ITBSP relativizado	
			LMAP	LSH-ZAIO	ALMA						
Playa Ramírez	1927-2007	15	-52.667	-	-	0.19	-0.11	- 37,1%	-13.1%	-2	
	1927-2007	15	-	-44.603	-	0.19	-0.09		-10.7%	-1	
	1945-2007	14	-111.57	-	-	0.01	-0.22		-20.6%	-3	
	1927-2008	23	-	-71.54	-	0.02	-0.14		-17.1%	-2	
	1945-2008	21	-	-126.65	-	0.001	-0.25		-22.5%	-4	
Pocitos	L27	1927-2007	-89.396	-	-	0.24	-0.06	- 42,2 % (L27)	-14.9%	-2	
		1927-2007	-	-128.85	-	0.1	-0.09		-19.2%	-2	
		1927-2008	21	-	-127.51	-	0.04		-0.09	-19.2%	-2
		1954-2008	18	-	-64.012	-	0.46		-0.04	-7.2%	-1
	L08	1927-2007	15	-	40.838	-	0.61	0.03	- 32,6 % (L08)	4.7%	1
		1927-2008	21	-	5.7741	-	0.93	0.004		0.7%	0
		1954-2008	18	-	-58.387	-	0.56	-0.04		-4.5%	-1
Playa Buceo	1929-2007	17	-28.87	-	-	0.68	-0.03	- 3,3%	3.0%	0	
	1929-2007	17	-	-	48.358	0.54	0.05		37.5%	5	
Playa Malvín	1929-2007	17	112.71	-	-	0.26	0.11	- 7,3%	8.0%	1	
	1929-2007	17	-	-	-200.8	0.25	-0.19		-22.6%	-3	
Playa Brava de Malvín	1939-2007	17	-90.007	-	-	0.001	-0.27	- 39,3%	-24.8%	-4	
	1939-2007	17	-	-	-51.906	0.19	-0.15		-30.5%	-4	
Desembocadura Pando	1928-2002	27	-8069.7	-	-	0.0001	-2.45				
Desembocadura Carrasco	1939-2008	19	-	202.55	-	0.15	0.13				

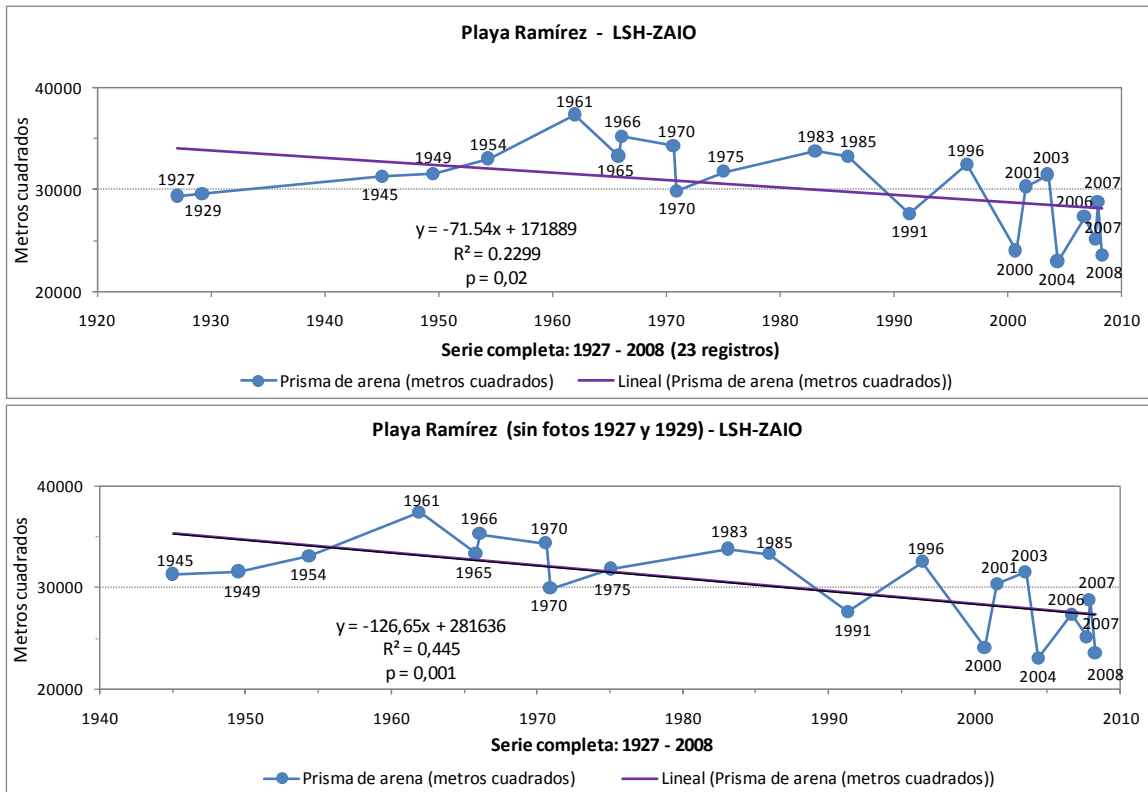


Figura 19. Evolución histórica de la superficie del arco de playa, entre el año 1927 y setiembre del 2008, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta playa (23 registros), realizado por **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**. Arriba: Todos los registros. Abajo: Se usaron para el análisis los registros posteriores a 1945. La línea de tendencia por regresión lineal indica un retroceso de la superficie de playa respectivamente para cada tratamiento de: muy significativo estadísticamente al 98% y altamente significativo con una $p < 0,001$.

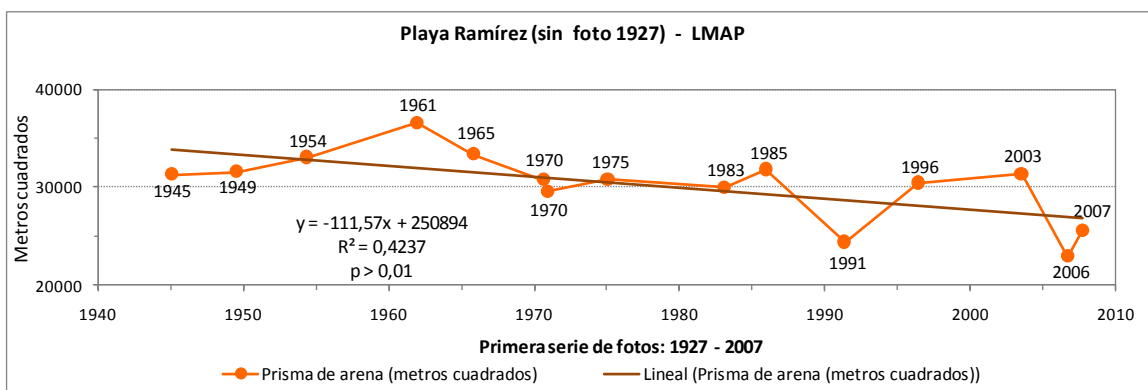


Figura 20. El análisis de la evolución histórica de la superficie del arco de playa, confeccionado con la primer serie de fotos obtenida (15 registros) y el indicador **línea de marea alta previa (LMAP)**, previo retiro de la foto de 1927, incrementó la tendencia por regresión lineal de retroceso de la superficie de playa de 81% (Figura 18 arriba) a un valor altamente significativo de $p > 0,01$.

confieren la actual estructura. Además, a los registros del período anterior a 1945, se les suma el hecho de la existencia de los temporales extraordinarios de 1923 y 1924, aspecto este claramente documentado en la iconografía existente. El temporal de julio de 1923, es el mayor desde que hay registros (año 1898) con una elevación de las aguas de más de 3 msnm, y al cual se le calculó una tasa de retorno de 821 años (MTO/PNUD/UNESCO, 1979). El de enero del 1924 tuvo una elevación de 2,09 msnm.

Además de una tendencia a la pérdida de superficie, la playa Ramírez (en su configuración actual), también ha sufrido una rotación en sentido horario, teniendo como eje aproximadamente su parte media (Figura 21). Una posible causa de esta rotación, es la construcción del descanso ubicado al W, cuando la construcción de la Rambla Sur (por el año 1930), y la posterior construcción de dos espigones (uno en cada extremo), seguramente para intentar corregir una erosión en su extremo norte. De estos dos espigones, el ubicado hacia el S de dicha playa ha resultado exitoso, funciona



Figura 21. La foto pancromática es del año 1927, la foto color (fondo) es del 29 de setiembre de 2007. En turquesa la **LMAP** correspondiente a 2007, en azul la del 1927. Notesé la rotación que ha sufrido la playa. Ubicado al S en verde está dibujado el espigón que funciona como “rompeolas”, y al N en amarillo y verde el espigón que genera problemas de difracción de olas (amarillo, primer etapa; verde, ampliación). La línea roja gruesa es la ubicación actual de la rambla. La flecha blanca señala una prominencia de la playa originada en las tareas de retirar arena de la playa y trasladarla a la zona de *surf*, práctica corriente desde aquella época. Fotos: Archivo DINAMA, año 1927; Archivo IMM, año 2007.

como un rompeolas, y se ha agrandado y consolidado la playa en ese sector, sin embargo el ubicado al N, a pesar de sufrir una corrección de diseño entre los años 1949 y 1954, continua provocando difracción de las olas y generando un foco que mantiene erosionada y húmeda la playa en ese sector.

Ramírez ha sido sometida, desde al menos la década de 1927, a removilización de arena inicialmente en carretas y luego con maquinaria desde la playa alta (arena acumulada contra el muro) a la zona de *surf* (aprovechando condiciones de marea baja), presumiblemente, por lo menos al inicio y fin de cada temporada (Figura 22). Esa movilización artificial de materiales, rompe las estructuras disipativas de la playa, y la deja frágil ante eventos de tormenta al bajar la cota de la zona de berma.

El retransporte de sedimentos hacia la rompiente realizado en playas reflectivas e intermedias, deja disponibles materiales que son removidos por las olas durante los procesos de *downwelling*, pudiendo favorecer las pérdidas hacia el mar que ocurren durante las tormentas del Sur. En Ramírez, la existencia de un gradiente extremadamente suave en la playa subacuática podría justificar una baja frecuencia de



Figura 22. Izquierda: La flecha blanca señala las acumulaciones artificiales de arena realizadas en las tareas de limpieza (28 de junio de 2001). Derecha: Las flechas celestes indican los lugares en que la arena es depositada en la zona de "surf" (8 de agosto de 2001). Imágenes: Digital Globe, *Google Earth 5*.

tal fenómeno, el que se restringiría a tormentas excepcionales. Los movimientos de arena con maquinaria pesada, se intensificaron entre el año 2000 y el 2006 (fecha en que dejaron de efectuarse); y la ubicación de la línea de costa en esos años muestra fuertes fluctuaciones.

Por otra parte, esta playa fue utilizada además, como zona de préstamo para la recarga de la playa Pocitos con anterioridad a 1975 (MTOP/PNUD/UNESCO, 1979). Coincidentemente el año 1961 corresponde al registro de mayor superficie de la playa para todo el período en estudio, decayendo abruptamente en el siguiente registro del año 1965. El **Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMSPA)** indica un porcentaje de variación con respecto al presente para ese registro de -37,1% (Tabla 7, pág. 44).

8.2. POCITOS

8.2.1. Antecedentes históricos

En el caso de Pocitos los cambios documentados también han sido drásticos; en efecto a comienzos del siglo XX, aún tenía dunas de gran altura y un prisma mucho más voluminoso que el actual y se encontraba surcada por varios arroyos. Según Ros (1923), Barrios Pintos (1971) y García Moyano (1979) hacia la mitad del siglo XIX existían en Pocitos dunas de hasta 10 metros de altura.

Ros (1923) afirmaba que a mitad del siglo XIX, el área delimitada por las actuales calles Buxareo (lugar de ubicación del Arroyo Grande de los Pocitos) por el E, el mar por el S y SE, las actuales calles Ellauri y 21 de setiembre, "... era un vasto y desierto arenal con altos médanos como montículos de arena voladora y juncos, con alturas que alcanzaban cinco y siete metros, y alguno, como el que ocupaba el lugar donde actualmente está edificado el Hotel Pocitos, alcanzaba una altura como de 10 metros, según la gente de 70 a 80 años de edad, que son viejos vecinos del lugar" (páginas 17 y 18).

Estas dunas fueron retiradas junto con arena de la propia playa, para ser utilizadas para la construcción edilicia, fenómeno este que habría afectado severamente a la playa, dado que las estructuras (especie de corrales) desde donde se extraía arena son visibles hasta 1927, y según los cronistas de ellas se retiraban muchas carretas por día (García Moyano, 1979). En las diferentes fuentes consultadas se señala que en una gran bajante de principios del siglo XX, se vieron los cimientos de casas "... que durante varios años estuvieron habitadas..." (Ros, 1923).

Como se mencionó es probable que este proceso haya comenzado en playas más próximas al casco urbano, como Ramírez y las que desaparecieron por la construcción de la rambla, sin embargo a la fecha sólo se dispone de testimonio escrito para Pocitos. Aun así, como puede observarse en la Figura 23, dibujada sobre la base del antiguo plano del "Proyecto de saneamiento de la Cuenca de los Pocitos" (García, 1908), anterior al trazado de la rambla, la playa era aun sensiblemente más ancha (entre un máximo de 80 y un mínimo de 40 metros aproximadamente), y con hasta 2 metros más de altura del prisma de playa que en el presente.

En la cartografía de principio de 1900 aparecen los tres cursos de agua, el tramo sur de la rambla fue construido en el año 1912, el Arroyo Pocitos Chico fue entubado por esa época y sobre su desembocadura se construye el Hotel de los Pocitos, y ya en la foto de 1927, sólo aparece el A^o Grande de los Pocitos, el cual en la siguiente imagen disponible de 1945 también ha sido entubado.

La extracción de arena tanto de los médanos como de la propia playa y el entubamiento de los arroyos, igual que en Ramírez, cambiaron la dinámica del ciclo de la arena, y

produjeron un fuerte retroceso de la línea de costa, al menos a partir de comienzos del siglo XX.

Entre mayo de 1927 y el presente, se observa una rotación horaria del arco de playa, con ganancias de playa seca en el extremo Norte y pérdida de la misma en el Sur (Figura 24), situación similar a la playa Ramírez. Este fenómeno en el caso de Pocitos, se explica por la demolición y retiro de las principales construcciones e intervenciones de comienzos del siglo XX, como el hotel instalado en la playa, viviendas y un amplio paseo pavimentado sobre la propia playa construido *a posteriori* del año 1927 y retirada antes de 1954 (Figura 25).

8.2.2. Evolución de la superficie de playa Pocitos y su dinámica

La playa Pocitos exhibe tendencias granulométricas opuestas en la berma y en la rompiente. En la primera el tamaño de grano tiende a aumentar hacia el NE y en la rompiente se insinúa una tendencia en sentido contrario. Estas observaciones indicarían



Figura 23. Digitalización de las curvas de nivel cada 1 metro, realizadas en 1906 para el Proyecto de Saneamiento de la Cuenca de los Pocitos (García, 1908), superpuesta a una imagen del 29 de setiembre de 2007. La línea roja es la ubicación de la rambla actual. En turquesa se indica la **LMAP** para el año de la foto. Nótese la mayor altura y ancho de la playa de la línea de costa antigua respecto a la actual. Foto: Archivo IMM, año 2007.

derivas opuestas, la primera originada por los vientos fuertes provenientes del SSE a SW y la segunda a las olas dominantes en el tiempo, de mar de fondo proveniente del SE. La deriva dominante si bien débil, es en dirección Norte, al igual que en Ramírez y se ve reforzada por transporte eólico en la misma dirección. La confirmación de una playa más ancha a montante de la deriva, cuando aun se encontraba sobre la playa el edificio del "Hotel de los Pocitos" (Figura 26) y la observación del corrimiento en igual sentido de la desembocadura del

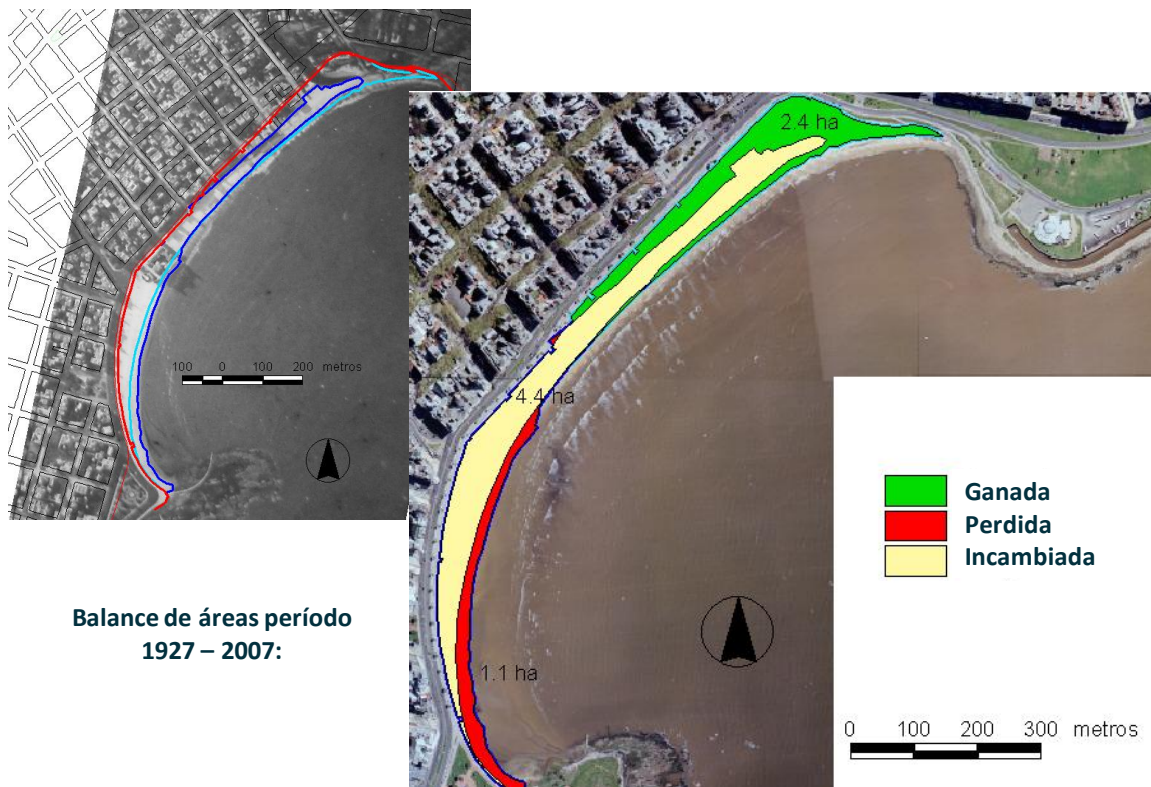


Figura 24. Izquierda: En turquesa la LMAP correspondiente a 2007, y en azul la del 1927. La línea roja gruesa es la ubicación actual de la rambla. Nótese la rotación que ha sufrido la playa. Derecha: Los polígonos sobre la playa indican las ganancias y pérdidas netas que han ocurrido en un período de 80 años. Fotos: Archivo DINAMA, año 1927; Archivo IMM, año 2007.



Figura 26. La línea roja, indica la posición actual del muro de la rambla. Obsérvese la superficie ocupada en 1945 por la rambla, con una escalera que bajaba en plena línea de marea alta. Foto: Archivo IMM, 1945.



Figura 25. Hotel de los Pocitos en 1930, la línea roja punteada señala la ubicación de la berma a cada lado del edificio. El temporal de 1923 ya había destruido su terraza. Foto: CMDF.

Arroyo Grande de los Pocitos (denominado Silva a principios del siglo XIX) antes de ser entubado, apoyan la tesis de una dirección de deriva dominante hacia el Norte (Figura 12, pág. 32).

Para su análisis se toma como fecha inicial la imagen del año 1927, correspondiente al primer registro fotográfico disponible. Los primeros análisis tendenciales de Pocitos fueron realizados con una serie de 15 imágenes (período 1927-2007) para los indicadores de línea de costa **línea de marea alta previa (LMAP)** y **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**, y como fuera explicado oportunamente (ítem 6.4.1. *Digitalización de indicadores de playas urbanas de Montevideo*, pág. 20), utilizando dos artefactos para “delimitar” la zona de playa, por un lado el “límite continental: playa año 1927” (**L27**) y por el otro el “límite continental: playa año 2008” (**L08**), a efectos de analizar si el incremento “artificial” de área de la playa podría estar enmascarando las tendencias de Pocitos (Figura 27).

El análisis de esta serie de registros fotográficos de Pocitos (15 recubrimientos, 1927 al 2007), no indica cambios muy importantes en la superficie de arena expuesta para el período, insinuando una tendencia levemente decreciente de retroceso de la superficie de playa usando **LMAP** y el límite **L27**, con una significación estadística muy baja del 76% (Figura 27, arriba), que se torna significativa al 90% usando **LSH-ZAIO** y el límite **L27** (Figura 27, centro), lo que sugiere que este indicador de posición de línea de costa, es más sensible para las playas con intenso pasaje de maquinaria de limpieza (Figura 6, pág. 23), dado que estas tareas influyen sobre la conservación del registro de **LMAP**. Por lo tanto, para Pocitos en los siguientes análisis se decidió desechar la utilización de la **línea de marea alta previa**.

Se realizó también un análisis para esta serie de imágenes usando **LSH-ZAIO** y el límite **L08** (Figura 27, abajo) considerando las superficies que para cada fecha había adoptado la playa de Pocitos, y el resultado es una tendencia levemente creciente, aunque no significativa estadísticamente, que estaría indicando que la tendencia al retroceso de la playa para esta serie, queda levemente enmascarada por las obras de ampliación realizadas.

Para profundizar en este análisis, y confirmar o descartar las evidencias relevadas en el análisis anterior, en una segunda etapa se completó un registro que comprende 21 imágenes (cubriendo el período 1927-2008), usando como *proxy* de línea de costa la **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)** y utilizando ambos artefactos: “límite continental: playa año 1927” (**L27**) y “límite continental: playa año 2008” (**L08**) (Figura 28). Con este nuevo análisis, se confirma lo insinuado por el análisis anterior (usando la serie de 15 registros, el límite **L27**, y ambos *proxy*: **LMAP** y **LSH-ZAIO**, Figura 27, arriba y centro), y la línea de tendencia por regresión lineal indica un retroceso de la superficie de playa estadísticamente significativa al 96%. Sin embargo, usando el límite **L08** obtenemos un resultado estadísticamente no significativo, indicando incluso una levísima tendencia al crecimiento del área de playa

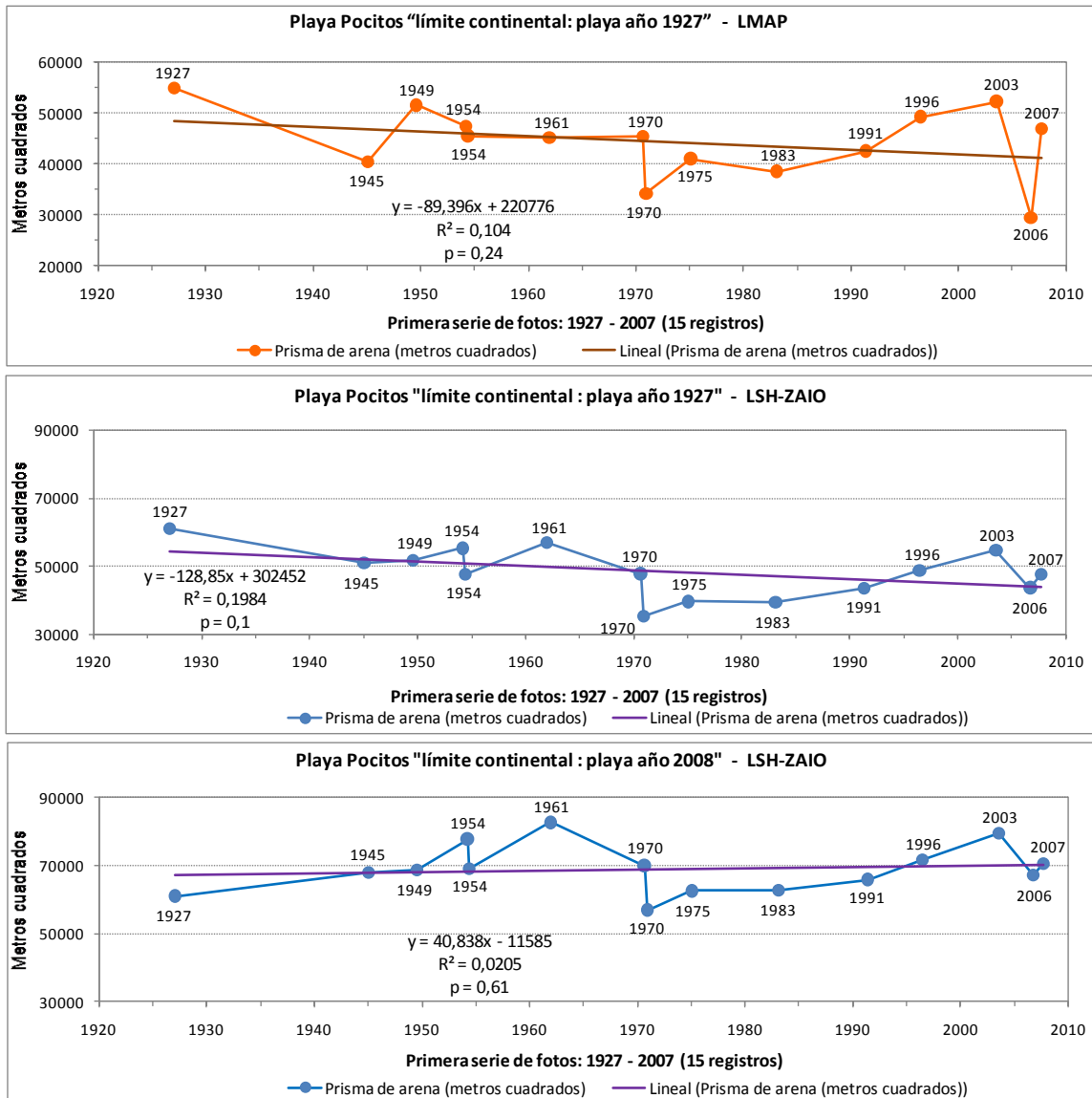


Figura 27. Evolución histórica de la tendencia de la superficie del arco de playa entre el año 1927 y setiembre del 2007, confeccionado con la primer serie de fotos obtenida (15 registros). Arriba: Por **línea de marea alta previa (LMAP)** y dado que la playa tuvo una ampliación por efecto de obras, fue tomada para realizar el análisis la zona comprendida dentro del arco de playa de 1927: artefacto "*límite continental: playa año 1927*" (**L27**). Centro: Por **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)** y usando también el artefacto "*límite continental: playa año 1927*". Abajo: Por **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)** y usando el artefacto "*límite continental: playa año 2008*" (**L08**). Para esta serie de fotos, la línea de tendencia por regresión lineal indica un retroceso de la superficie de playa débil, pero sostenido en el tiempo usando **LMAP** y límite **L27** significativa al 76% (arriba), que se torna significativa al 90% usando **LSH-ZAIO** y **L27** (centro), pasando a ser no significativa cuando usamos **LSH-ZAIO** y límite **L08** (abajo).

de $6 \text{ m}^2/\text{año}$, lo que confirmaría que el efecto de las ampliaciones artificiales que ha tenido esta playa, enmascaran las tendencias a la disminución de superficie. Comparando entre los resultados de los índices obtenidos para **L27** y el **L08** (Tabla 7, pág. 44), los valores son siempre más altos usando el primer artefacto, aunque analizando respecto al conjunto de los otros sitios de estudio, Pocitos es quien presenta valores más bajos y por tanto una mayor estabilidad relativa. Sin embargo el **Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMSPA)**, indica un porcentaje de variación respecto al registro fotográfico donde se presenta la mayor extensión de superficie de $-42,2\%$ para el **L27** y de $-32,6\%$ para el **L08**, lo que indica que más allá de los resultados estadísticos, el estado actual de la playa presenta en esta los valores porcentuales más altos de pérdida de superficie respecto a estados anteriores.

Dado que la superficie seca de Pocitos del año 1927 a la fecha se ha incrementado en 2,4 hectáreas rotando en sentido horario (Figura 24, pág. 48), y este incremento es sólo atribuible a obras de recuperación producidas por la IMM a partir de la década de 1930,

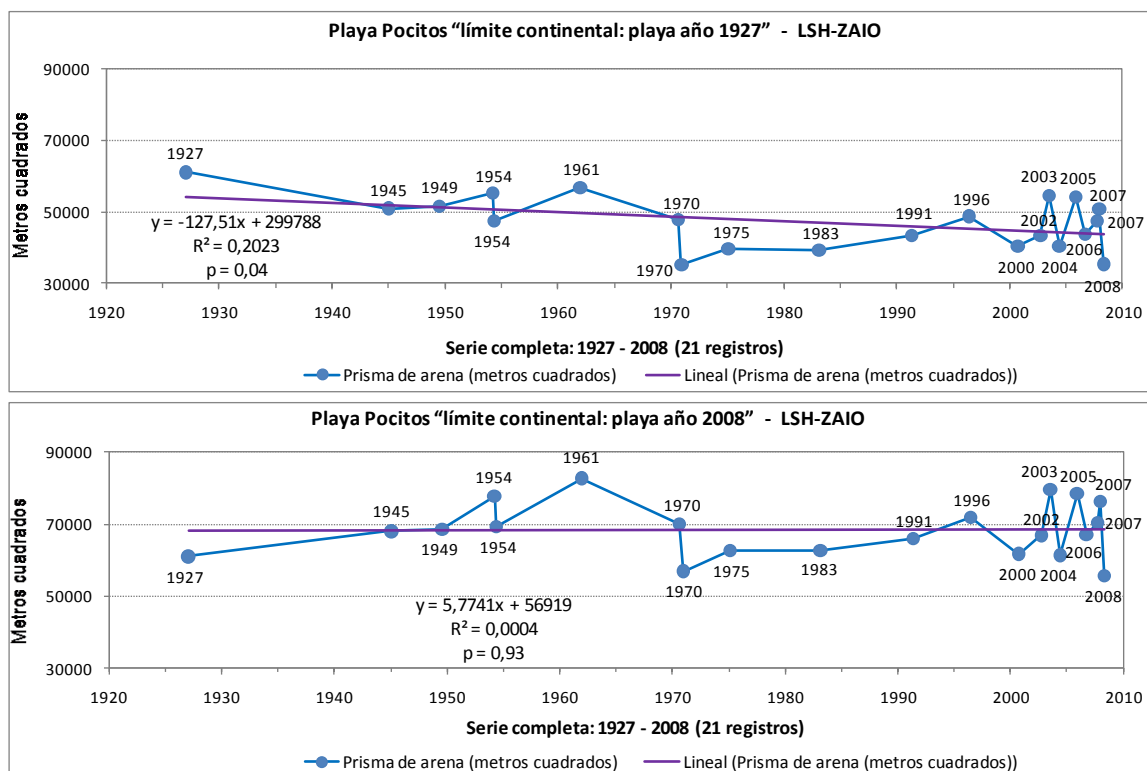


Figura 28. Evolución histórica de la superficie del arco de playa, entre el año 1927 y setiembre del 2008, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta playa (21 registros), realizado por **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**. Arriba: usando "límite continental: playa año 1927" (**L27**). Abajo: usando "límite continental: playa año 2008" (**L08**). La línea de tendencia por regresión lineal usando el límite **L27**, indica un retroceso de la superficie de playa estadísticamente significativo al 96%. Sin embargo, usando el límite **L08** obtenemos un resultado estadísticamente no significativo, indicando incluso una levísima tendencia al crecimiento del área de playa.

por tanto un análisis más ajustado a la realidad actual debe hacerse como en Ramírez a partir de la imagen en que la playa se encuentre con la configuración más parecida a la actual.

En la hipótesis de que la configuración más similar a la playa actual, de la que tenemos registro fotográfico, comienza con la imagen de mayo del 1954, usando el *proxy línea seca/húmeda* o *zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)*, quitamos del análisis las fotos de 1927, 1945 y 1949, pasando los valores de la tendencia a la pérdida de superficie a ser no significativos estadísticamente (con el límite **L27** al 44% y con el límite **L08** al 54%) (Figura 29). Lo que indicaría que respecto a la superficie de playa, analizando el período en que ya han sido realizadas las principales modificaciones en el “diseño” de la playa Pocitos, se observa una relativa estabilidad del sistema, y las fluctuaciones responden a la dinámica natural de la playa y/o al manejo (redistribución de arena con maquinaria). Coincidentemente el **Índice Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza el balance por el largo de la línea de costa, tipifica para el análisis de toda la serie a estos valores como **moderados**, pero cuando se analiza la serie a partir del registro del año 1945, estima el cambio como **leve** (Tabla 7, pág. 44).

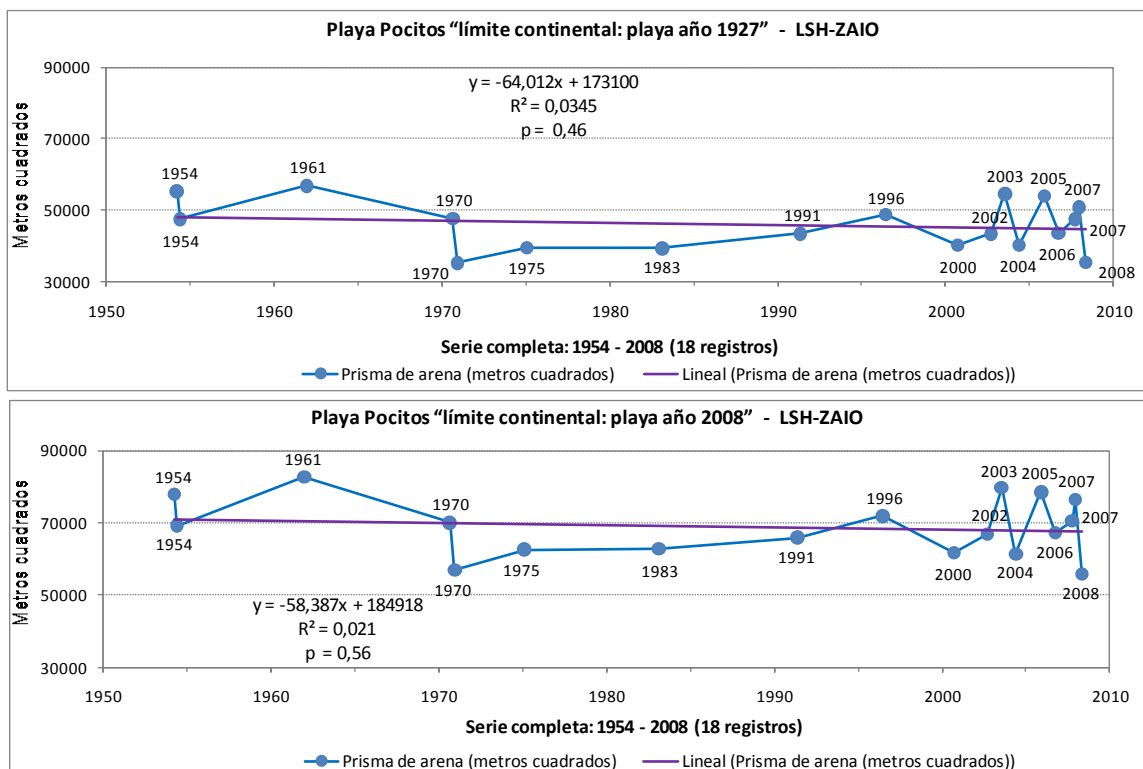


Figura 29. Se analizó el comportamiento de la playa Pocitos, usando los registros posteriores al año 1954 donde la playa tiene una configuración similar a la actual (18 registros), realizado por *línea seca/húmeda* o *zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)*. Arriba: usando el límite **L27**. Abajo: usando el límite **L08**. Resultando para ambos tratamientos que el resultado no es estadísticamente significativo, aunque tenga una leve tendencia a la pérdida de área.

Por lo tanto, del análisis de la serie multitemporal obtenida para Pocitos (21 recubrimientos aerofotográficos), que abarcan un período desde 1927 hasta el año 2008, se puede apreciar que Pocitos, en principio ha ganado en superficie seca, a pesar de caberle las mismas consideraciones que fueron hechas para Ramírez, en lo atinente al transporte mecánico de sedimentos, con el agravante de que esta playa tiene en algunos sectores, menos de 0,60 metros de espesor de arena de playa sobre sedimentos presumiblemente pleistocénicos. Por lo tanto, la aparente estabilidad actual de la playa Pocitos se puede relacionar a una “construcción” de área seca de playa. Como puede apreciarse en los gráficos de la Figura 27 (Arriba y Centro) y Figura 28 (Arriba), la playa de Pocitos, sufrió menor impacto del temporal del año 1923 que Ramírez, presumiblemente debido a una altura mayor de la playa en ese momento, no obstante, sufre el impacto del temporal del 1944 (aprox. 2 msnm) y los temporales del año 2005 (del 29-31 de enero y del 23-24 de agosto).

Por otra parte, el relleno que se ha ido realizando a partir de la década de 1970 en la Punta de Trouville, para ganar terreno al mar, ha cambiado la dinámica de esta parte de la playa, que incluso en la primera mitad del siglo XX (Figura 30), era usada como sitio de desembarco, mientras ahora es una zona de muy escasa profundidad.



Figura 30. Pocitos visto desde la Punta de Trouville, en el año 1917. Los barcos amarrados indican una relativa profundidad para la época en esa zona. Foto: CMDF-IMM.

8.3. BUCEO

8.3.1. Antecedentes históricos

Fue realizada una búsqueda de documentos históricos sobre esta playa con escasos resultados. La razón de la falta de crónicas quizás esté en el temprano deterioro ambiental, relacionado con la ubicación contigua del basurero municipal que estaba ubicado al costado del Cementerio del Buceo (donde hoy nace Bulevar Propios), en donde según R.J.C. Ellis (1917 en Etcheverry, 2007), había depositadas verdaderas montañas de desperdicios de la ciudad. Dicho basurero ya estaba operativo en 1883 (Muñoz), y la playa y alrededores estaba ocupada por manadas de cerdos, “millares de ratas” y gaviotas, todos alimentándose de los desperdicios, y algunos grupos de personas que vivían del reciclaje de la basura. En el declive del terreno hacia la playa estaba instalada una grasería que funcionaba procesando los desechos animales de la basura. Los restos del propio basural hoy funcionan como relleno de la “bajadita” a la rambla situada donde nace la Avenida Propios.

La descripción de Daniel Muñoz (1883), hace pensar en la existencia de *cuspa* en esta playa: “En torno todo era arena, festoneada la costa con graciosas curvas, terminadas en promontorios que se internaban en el agua...”, hecho inusual al presente en esta playa, lo que denota una mayor disponibilidad de arena y de una granulometría más gruesa que la actual.

En la playa aún hoy persisten parte de los cimientos de lo que la tradición oral establece que fuera una fábrica de vidrio (Figura 31), instalada junto a la fuente de materia prima, y que posteriormente en 1914, se instaló otra en las inmediaciones, las que presumiblemente aprovecharon las características mineralógicas de esta playa, para la fabricación de vidrio. Si bien estos datos, no son concluyentes, podría interpretarse que la fábrica ubicada sobre la propia playa, estuvo ubicada ahí hasta el agotamiento de un *stock* sin capacidad de reposición.

En una carta de 1920²¹ se aprecia la existencia de una cañada con agua permanente que desembocaba en la propia playa (Figura 32). Para este momento, el trazado de la mayor



Figura 31. Restos de de lo que sería la fábrica de vidrio al pie del talud de la playa Buceo.

^{21/} Carrasco. Carta del Depto. de Montevideo. Escala 1:20.000. Hoja E. Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados para la zona de interés en 1917. Edición 1920. (Mapoteca, SGM).

parte de su rambla figuraba como proyectada. Para el año 1939, se aprecia a la playa con una configuración muy similar a la actual, con una superficie importante de arena húmeda, y con el talud que la bordea con vegetación aparentemente arbórea, posiblemente con transparentes (*Myoporum laetum*), de los cuales aun existe algún relicto (Figura 33).

8.3.2. Evolución de la superficie de playa Buceo y su dinámica

Esta playa está parcialmente resguarda del oleaje del W. La dirección normal a su tangente es N28°W por lo que está expuesta al oleaje de mar de fondo dominante (SE) y en menor medida al oleaje y vientos fuertes del S (Figura 11, pág. 30).

La granulometría de la playa es fina con selección moderada a muy bien seleccionada, ligeramente más gruesa en dirección E, lo que sugiere una deriva dominante débil en esa dirección, reforzada por el transporte del viento en el mismo sentido.

Así, la zona de mayor energía y tamaño de grano está en la zona de rompiente bajo el agua, único lugar en que esta playa es de arena gruesa. Las muestras son progresivamente más asimétricas (asimetría negativa) a medida que se aproximan al extremo W, exhibiendo un padrón inverso al marcado por el tamaño medio, similar al resto de las playas. Buceo es una playa de arenas mucho más finas y mejor clasificadas que el resto de las playas analizadas (Panario *et al.*, 2008b).

Ello es interpretado, considerando que puede recibir los finos y livianos provenientes de Malvín que escapan por la Punta



Figura 32. En esta cartografía de 1920, se observa la existencia de un curso de agua permanente que fue posteriormente entubado, y su importancia puede deducirse de que el puente era de mampostería (según la leyenda de la carta). Las curvas generales son cada 5 m y las principales cada 20 m. Fuente: Mapoteca, SGM.



Figura 33. La playa Buceo por el año 1939. Obsérvese que para ese momento ya la configuración de la playa es similar a la actual, presentando una pendiente suave y poca superficie de arena seca. Foto: CMDF-IMM.

Gomensoro, mediante corrientes de retorno que no tienen energía suficiente para retornar gruesos o densos, y por tanto, su procedencia sería mayoritariamente una selección de finos provenientes del Este, en la medida que los provenientes del W difícilmente podrían superar el canal de entrada del puerto del Buceo.

Para su análisis se toma como fecha inicial la imagen del año 1929, correspondiente al primer registro fotográfico en el cual ya el arco de playa se encuentra con una configuración similar a la actual. Los análisis tendenciales de Buceo (Figura 34) fueron realizados con una serie de 17 imágenes (período 1929-2007), las que denotan que la evolución del área de playa, aunque tiende a disminuir $29 \text{ m}^2/\text{año}$, la tendencia no es estadísticamente significativa, usando como indicador de línea de costa la **línea de marea alta previa (LMAP)**. Se utilizó este *proxy* porque aparecía bien expresado en las fotos, debido a que estas playas reciben un menor impacto de tareas “mantenimiento”, y además por las propias características de la playa.

Por otra parte, se decidió utilizar otro de los *proxy* de línea de costa, el **antiguo límite de marea alta (ALMA)**, vista las fluctuaciones que en esta playa tiene la superficie de arena seca, dado que este indicador se traza precisamente separando arena seca de húmeda. Del análisis resulta que la superficie recubierta por arena seca tiende a aumentar $49 \text{ m}^2/\text{año}$ con una tendencia que no es estadísticamente significativa (Figura 35).

Como puede verse en la Figura 35, a partir de 1970, las fluctuaciones en la proporción de playa que es arena seca se acentúan y la arena seca se comporta en forma inversa a la superficie total, apareciendo totalmente húmeda en la mayoría de las fotos que no pertenecen al período estival, e incrementando su superficie seca (Figura 36) con excepción del 1985 y 2003, cuando disminuye su área total, lo cual puede interpretarse como que durante los temporales se produce incorporación a la playa de la duna o la escarpa. Debe señalarse, que en los últimos dos registros (2006 y 2007) la arena seca ha

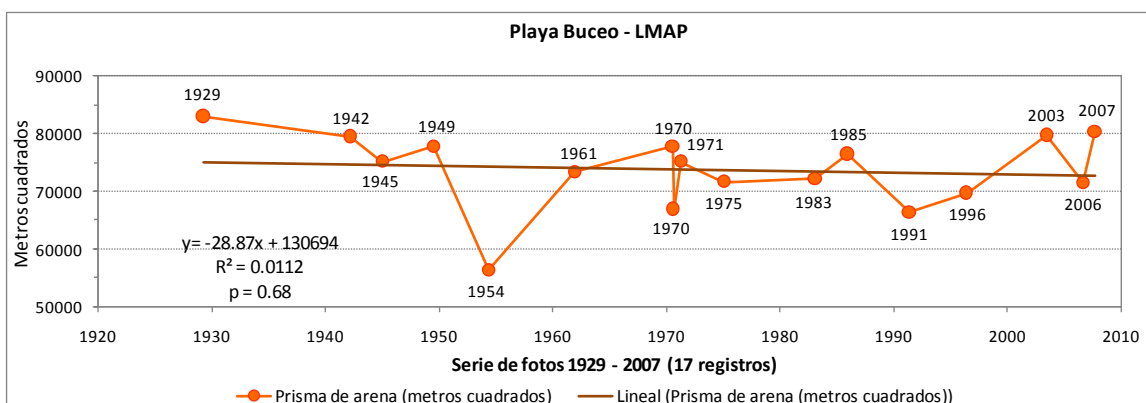


Figura 34. Evolución histórica de la superficie del arco de playa, entre el año 1929 y setiembre del 2007, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta playa (17 registros), realizado por **línea de marea alta previa (LMAP)**. La línea de tendencia por regresión lineal indica un retroceso de la superficie de playa débil, pero sostenido en el tiempo.

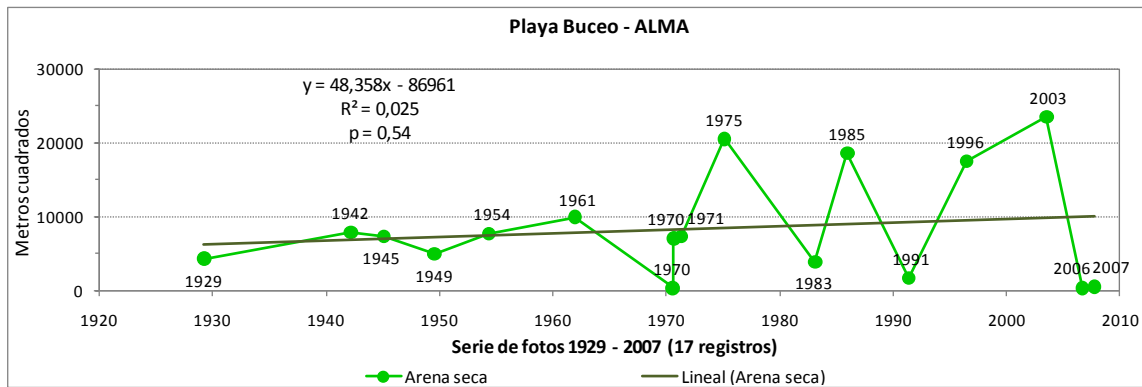


Figura 36. Evolución histórica de la superficie de arena seca, realizado por antiguo límite de marea alta (ALMA), entre el año 1929 y setiembre del 2007. Nótese que en muchos años el comportamiento es inverso al comportamiento de la playa total, y las fuertes fluctuaciones a partir de 1970.

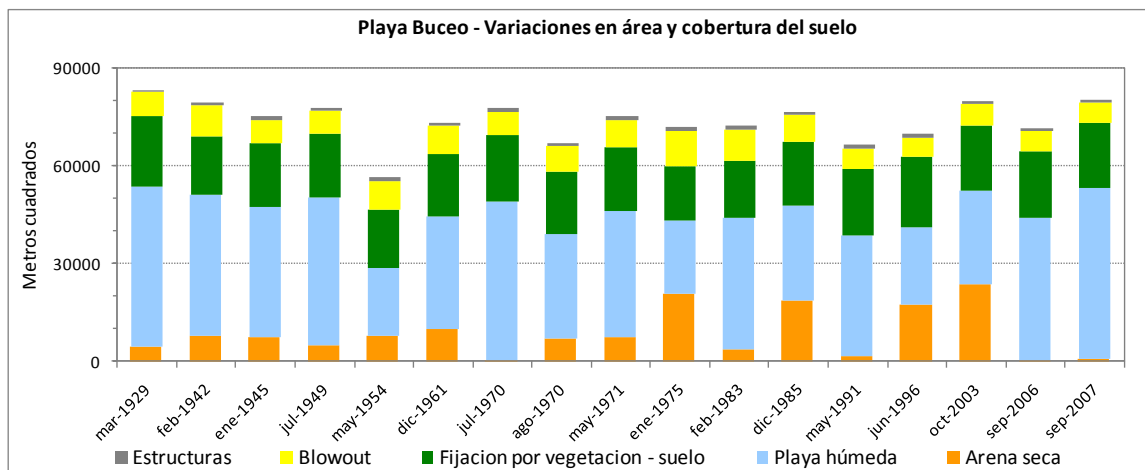


Figura 36. En la gráfica se presentan las fluctuaciones que ha tenido la superficie de la playa Buceo en el período 1929-2007, clasificadas en: arena seca, playa húmeda, área parquizada, estructuras y dunas parabólicas (*blowout*), entre el año 1929 y 2007. Nótese la variabilidad de los valores a lo largo del período, así como la disminución de la arena seca a partir de 2006.

alcanzado los valores de registro más bajos de toda la serie (menores aun que el 1970), y explicables por los temporales de febrero y agosto del 2005.

El **Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMSPA)** es -3,3%, que presenta el porcentaje de variación más bajo de todas las playas respecto al mejor escenario (real) pasado (Tabla 7, pág. 44). A su vez el **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza el balance por el largo de la línea de costa, tipifica a los cambios como **leves**, el **Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie (ITBSP relativizado por tiempo)**, caracteriza como nulos los resultados del *proxy* LMAP; sin embargo, caracteriza como **fuertes** las variaciones de superficie de arena seca, dado que más allá de que los volúmenes son muy bajos, la fluctuación es muy alta.

8.4. MALVÍN - BRAVA

8.4.1. Antecedentes históricos

Según R.J.C. Ellis (1917 en Etcheverry, 2007), la playa de Malvín presentaba enormes médanos blancos de hasta 20 metros de altura, que se extendían hasta donde hoy está ubicada Avenida Italia, a la altura de Veracierto.

Las modificaciones que ha tenido esta zona, si bien son también intensas, comienzan más tarde. Es recién en 1896 que se lotea esa zona desértica de playas, para establecer a las lavanderas que eran desplazadas de la zona de los Pocitos, de ahí el nombre: "Lavaderos del Este".

Por tratarse de una playa muy alejada del casco urbano no se encontraron casi referencias anteriores al siglo XX, fecha en que ya se comenzó a poblar como lugar de veraneo, inaugurando su rambla circa de 1920, por tanto es a partir de esta fecha que adquiere su actual configuración, es así que puede utilizarse la totalidad de registros disponibles a partir de marzo de 1929.

En una carta de 1920²² se puede apreciar que desde esta zona hacia el Arroyo Carrasco, era una zona cubierta por arenales, indicada en esta carta como "terrenos arenosos" (Figura 37). A su vez, en esta cartografía aparecen dos lagunas cerca de la desembocadura del Arroyo Malvín, que son restos de

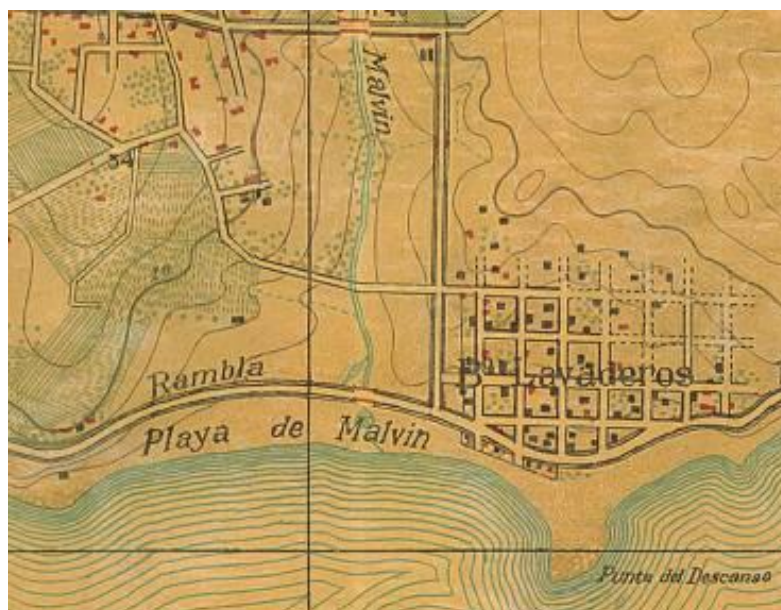


Figura 37. En esta cartografía de 1920, se observa la existencia de lagunas ubicadas en la desembocadura del Arroyo Malvín, que son relictos de anteriores migraciones de su cauce. Nótese el ancho de la playa en la Brava, ubicada a la derecha de la Punta del Descanso. Fuente: Mapoteca, SGM.

^{22/} Carrasco. Carta del Depto. de Montevideo. Escala 1:20.000. Hoja E. Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados para la zona de interés en 1917. Edición 1920. (Mapoteca, SGM).

anteriores migraciones de su curso. En un plano cercano al 1850²³ a este arroyo se refieren como Balvín, quien fue el propietario de un saladero ubicado sobre esta playa a fines del 1700.

La denominada playa Brava de Malvín, aún presenta construcciones remanentes de la instalación de un cine sobre la playa (Figura 38) y un colector de saneamiento, construcciones ambas que por interferir el



Figura 38. Cine al aire libre ubicado sobre la playa Brava, año 1945. Foto: CMDF-IMM.

tránsito de sedimentos eólicos la primera y por reflejar la energía de la ola al quedar descubierto el segundo, aún producen severas consecuencias sobre el arco de playa.

8.4.2. Evolución de la superficie de playa Malvín - Brava y su dinámica

Para la playa Malvín la dirección normal a su tangente es N3E (Figura 11, pág. 30), es decir, está orientada oblicua al oleaje dominante (*swell* y vientos del SSE).

Para la playa Brava de Malvín la dirección normal a su tangente es N37W (Figura 11, pág. 30), es decir, está orientada oblicua al oleaje dominante (*swell* y vientos del SSE) en una situación intermedia entre la playa de Pocitos, donde este llega casi paralelo a la playa, y Malvín, en la cual llega muy oblicuas.

La granulometría de la playa Malvín y Brava es media, cerca del límite con las arenas finas. La variación lateral es insignificante en la porción subacuática de la playa, en cambio en la porción subaérea, las muestras en la berma y rompiente tienden claramente a ser más gruesas, o hacia el W o hacia el E, según el régimen de olas anterior al momento del muestreo, acompañadas de una tendencia a la granoselección en sentido inverso según la situación. La simetría de las muestras tiende a ser negativa hacia el W y positiva hacia el E. No es raro encontrar muestras bimodales (Panario *et al.*, 2008b). De estos resultados se deduce la presencia de deriva litoral en Malvín de sentidos opuestos, uno originado por vientos del SW (fuertes) y otro originado presumiblemente por el mar de fondo, dominante del SE. La deriva de la desembocadura del Arroyo Malvín (antes de su canalización) tanto en una como en otra dirección, reafirma la misma conclusión. Como se señala anteriormente, la componente del E que sería la dominante se confirma con su distintiva composición mineralógica. La

^{23/} Plano topográfico y curvas de profundidad de la costa del Río de la Plata desde Punta Espinillo hasta Punta Gorda. Escala 1:20.000. Sin fecha ni datos de autores. (Mapoteca, SGM).

Brava tiene en cambio deriva dominante hacia el W, concordante con la dirección del *swell*, tornándose casi reflectiva en el sector próximo al tómbolo donde las olas de mar de fondo llegan casi paralelas.

Para su análisis se toma como fechas iniciales la imagen del año 1929 para Malvín y la del año 1939 para la Brava, correspondientes respectivamente a los primeros registros fotográficos, en los cuales ambos arcos de playa se encontraban con una configuración similar a la actual.

Los análisis tendencias de la playa Malvín en sentido estricto y del arco de playa denominado Brava (Figura 39 y 40 respectivamente) fueron realizados con una serie de 17 imágenes para cada una, que abarcan los períodos 1929-2007 y 1939-2007 respectivamente, usando como *proxy* de línea de costa la **línea de marea alta previa (LMAP)**, dado que aparecía bien expresada en las fotos, debido a que estas playas reciben un menor impacto de tareas “mantenimiento”.

El análisis multitemporal de la playa de Malvín, no indica cambios muy importantes en la superficie de arena expuesta para el período, insinuando una leve tendencia de crecimiento de la superficie de playa de $112 \text{ m}^2/\text{año}$, que si bien indica una ligera recuperación, su significación estadística es baja (74%). Esta tendencia se mantiene constante a partir de 1991, fecha en que se comienzan a establecer vallados para la recuperación de duna primaria en la playa, luego de un fuerte retroceso de la línea de costa ocurrido a partir de 1985 (Figura 39).

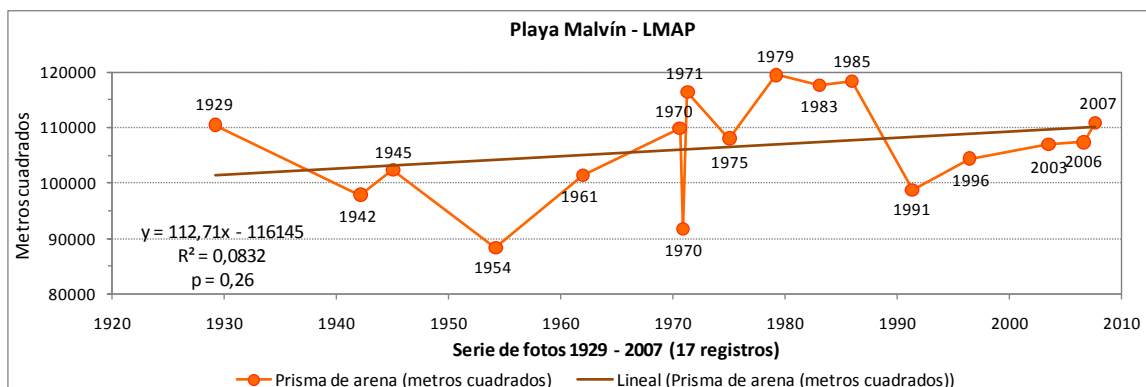


Figura 39. Evolución histórica de la superficie del arco de playa de Malvín, entre el año 1929 y setiembre del 2007, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta playa (17 registros), realizado por **línea de marea alta previa (LMAP)**. Para esta serie de fotos, la línea de tendencia por regresión lineal indica un incremento de la superficie de playa débil, muy poco significativo estadísticamente (74%). Nótese la tendencia a la recuperación a partir de 1991, coincidente con la instalación de los vallados para la reconstrucción del cordón dunar.

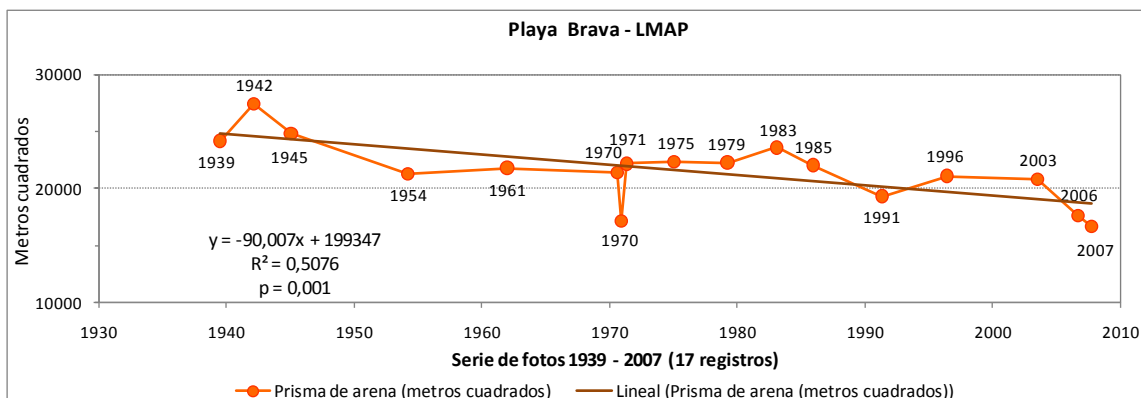


Figura 40. Evolución histórica de la superficie del arco de playa del sector denominado playa Brava, entre el año 1939 y setiembre del 2007, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta playa (17 registros), realizado por **línea de marea alta previa (LMAP)**, siendo la disminución de la superficie de playa en este caso altamente significativa con una $p = 0,001$.

Del análisis multitemporal de la playa Brava de Malvín (Figura 40), surge como resultado principal que el área de playa tiende a disminuir unos $90 \text{ m}^2/\text{año}$, con una tendencia altamente significativa estadísticamente ($p = 0,001$).

El **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza el balance por el largo de la línea de costa, tipifica a estos cambios como **moderados**, pero cuando se analiza la playa Brava usando como *proxy* **LMAP** estima el cambio como **fuerte** (Tabla 7, pág. 44).

Para ambas playas se decidió utilizar como *proxy* de línea de costa, el **antiguo límite de marea alta (ALMA)**, visto que en estas playas también se evidencian fluctuaciones de la superficie de arena seca (Figura 41). Del análisis resulta que la superficie recubierta por arena seca presenta una tendencia a disminuir en Malvín de $200 \text{ m}^2/\text{año}$ con una significación estadística muy baja (75%) y en Brava de $52 \text{ m}^2/\text{año}$ con una significación estadística baja (81%). En Malvín está relacionado al crecimiento de áreas parquizadas y en Brava al aumento de playa húmeda (Figura 42 y 43).

El **Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie (ITBSP relativizado por tiempo)**, caracteriza como **fuertes** las variaciones de superficie para Brava para ambos *proxies*, y para Malvín para las fluctuaciones que ha tenido de superficie de arena seca usando el *proxy* **ALMA** (Tabla 7, pág. 44).

Los retrocesos observados no guardan relación en el caso de Malvín con los temporales registrados, no obstante denota la misma señal de retroceso en el año 1970 (entre agosto y diciembre) que el resto de las playas analizadas (Figura 39 y 40), y se diferencia de las mismas por no registrar significativamente los efectos de los temporales del 2005, sin embargo el sector de la playa de Malvín, denominado Brava si lo registra. Si

bien, usando el *proxy antiguo límite de marea alta (ALMA)*, tanto Malvín como Brava, muestran en los registros posteriores al 2005, una disminución de la arena seca.

El **Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMSPA)** es de -7,3% para Malvín, pero es de -39,3% para Brava, lo que indica una disminución importante de superficie de playa respecto al mejor escenario (real) pasado (Tabla 7, pág. 44).

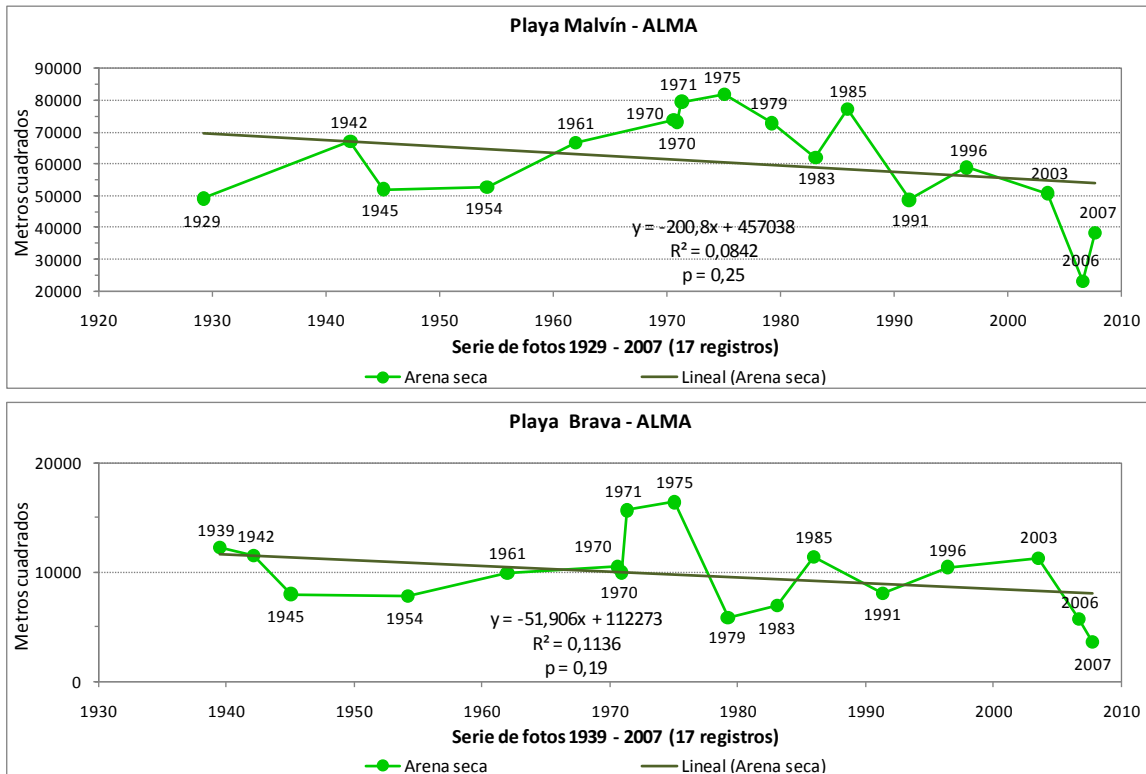


Figura 41. Evolución histórica de la superficie de arena seca, realizado por **antiguo límite de marea alta (ALMA)**, entre el año 1929 y setiembre del 2007. Arriba: Malvín. Abajo: Brava de Malvín. Nótese las fuertes fluctuaciones a partir de 1970. La evolución de la arena seca de la playa Malvín, está más vinculada a la parquización que a los temporales, si exceptuamos a los dos ocurridos en el año 2005.

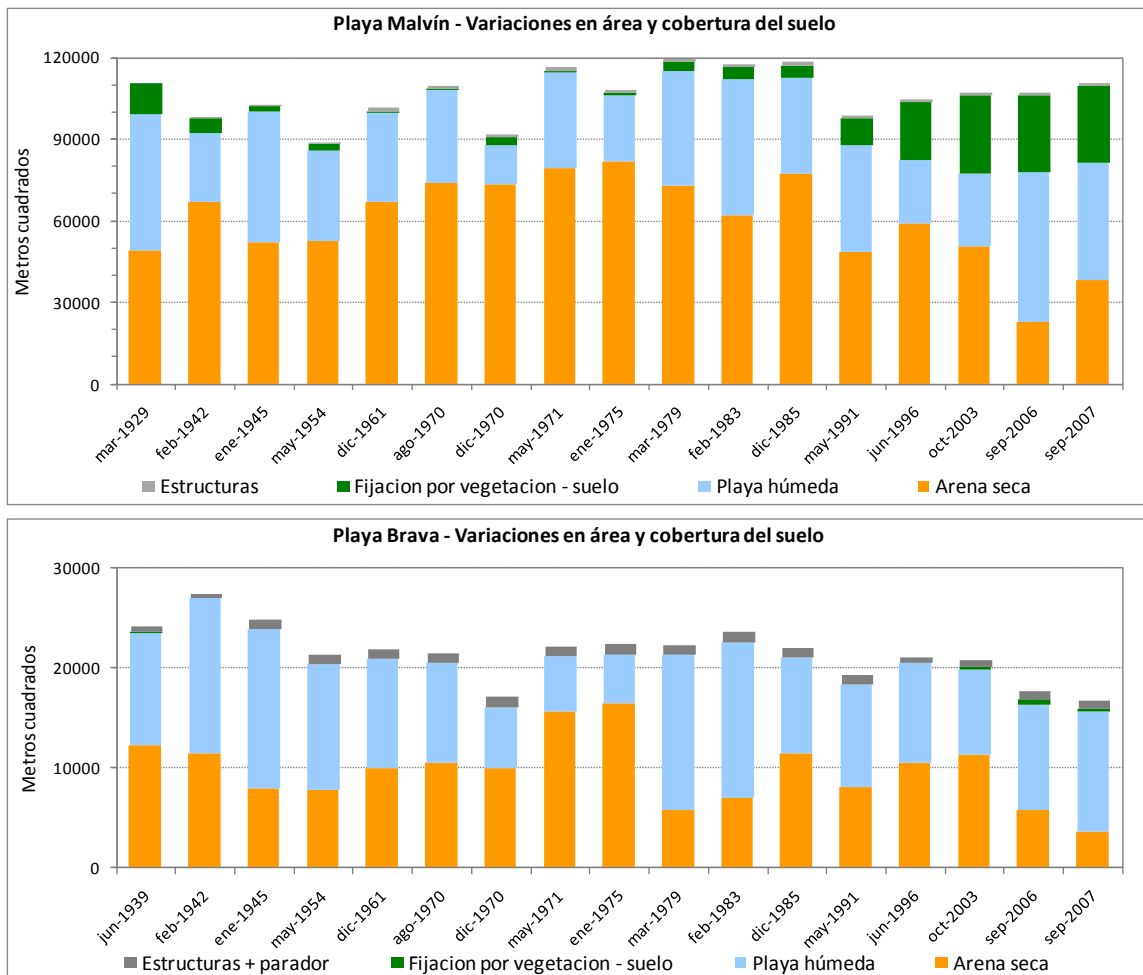


Figura 42. En las gráficas se presentan las fluctuaciones que han tenido las superficies de las playas Malvín y Brava, clasificadas en: arena seca, playa húmeda, área parquizada, estructuras. Arriba: Malvín, período 1929-2007. Abajo: Brava de Malvín, período 1939-2007. Nótese la variabilidad de los valores. En Malvín el área parquizada aumenta en los últimos años en detrimento de la arena seca, y en Brava aumenta la zona de playa húmeda en detrimento también de la arena seca.

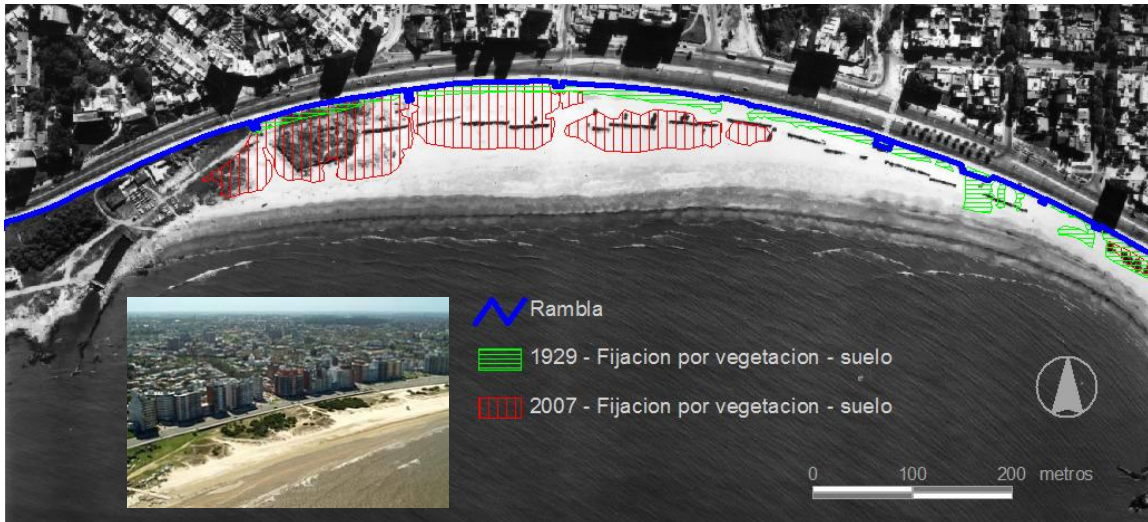


Figura 43. En la foto aérea de de mayo de 1991 se observa la distribución de los vallados. La trama roja indica la ubicación de los parches de parqueización en 2007, que se observan en la foto panorámica color. La trama verde indica la posición de la vegetación presente en la imagen de 1929 (fundamentalmente conformada por arboles). La ubicación actual de la rambla en azul. Fuentes: Archivos vectoriales y foto 1991, IMM.

A partir del año 1954, comienza una tendencia a la colonización por vegetación de la Punta del Descanso, con una tendencia altamente significativa (Figura 44), lo que puede explicarse por una desaturación en sedimentos del flujo (Panario *et al.*, 2008), asociada a los procesos erosivos evidenciados en la playa Brava de Malvín. Esta zona del tómbolo que une a ambos sectores de playa, tenía un mayor grosor del prisma de playa para la primera mitad del siglo XX, así como un mayor sector de arena seca (Figura 45 y 46).

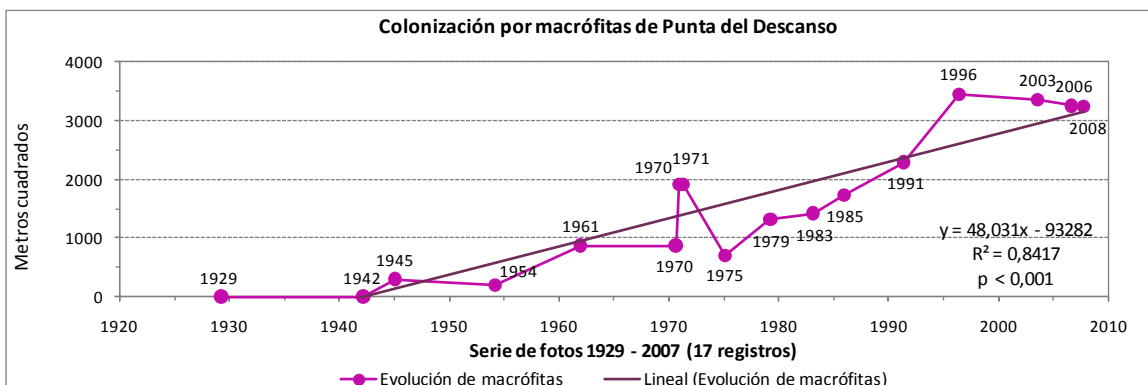


Figura 44. Evolución histórica de colonización por macrófitas de la Punta del Descanso, tómbolo ubicado entre la playa de Malvín y la playa Brava.



Figura 45. Sobre la imagen del año 2006, se superpone el *shape* de la rambla (azul), y la línea de costa trazada por **LMAP** para el año 1939 (rojo). A la izquierda, obsérvese sobre la playa de Malvín el lugar de la desembocadura del arroyo del mismo nombre. A la derecha de la Punta del Descanso, puede observarse el retroceso, cambio de forma y orientación que ha tenido la playa Brava. A diferencia de la imagen mostrada en la Figura 44, el tómbolo ha disminuido en arena seca y ha sido colonizado por macrófitas (señalado en verde). Fuentes: Archivos vectoriales, IMM; foto 2006, *Google Earth 5*.



Figura 46. Vista panorámica de la Punta del Descanso. En primer plano la playa Brava, pudiendo apreciarse su ancho y la importante componente de arena seca. Al fondo la playa Malvín con el arroyo del mismo nombre (que fuera entubado en el período 1945-1961), y parcelas con forestación y construcciones ubicadas en la propia playa. Foto: 14 de enero de 1942, SSRFAU.

8.5. ARROYO PANDO, EL PINAR - NEPTUNIA

8.5.1. Antecedentes históricos

En la cartografía de 1789²⁴ (Figura 47) puede observarse una laguna ubicada en la desembocadura del Arroyo Pando, el cual presentaba por esa fecha su barra cerrada. Por tradición oral se ha mantenido el recuerdo de que la barra estuvo cerrada, sin fijar una fecha precisa para ese evento, por lo tanto esta Carta sería la primer referencia que aporta información objetiva sobre ese hecho, propio de las condiciones climáticas de esa época (*"Pequeña Edad del Hielo"*).

El Arroyo Pando, hasta comienzos de la década de 1920, desembocaba en un humedal conformado por la colmatación de otra laguna de mayor dimensión y ubicada aguas arriba de la anterior (presumiblemente holocénica), y luego desaguaba en el Río de la



Figura 47. Carta levantada en el año 1789. El círculo amarillo señala la ubicación de una laguna en la desembocadura del Arroyo Pando, y la barra cerrada.

²⁴/ Carta esférica del Río de la Plata desde su desembocadura hasta Buenos-Ayres. Levantada de Orden del Rey en 1789 y rectificada en 1794, por varios oficiales de su Real Armada. Presentada a S.M. por mano del Exmo. Sr. Juan de Langaran en el año 1798. ID: K0886, National Maritime Museum, Londres. Disponible on-line en: <http://www.nmm.ac.uk/collections/explore/chartzoom.cfm/imageID/K0886/x/6063/y/36/zoomlevel/2/#content> (consultado el 6/10/2009).

Plata, por el canal conocido como Pando del Plata. Entre 1912 y 1920, el humedal fue canalizado y el arroyo represado para mantener la altura del pelo de agua.

Esta intervención provocó un cambio significativo en la hidrología del canal que perdió el poder regulador de un humedal de 900 hectáreas, y por tanto pasó a ser dominado por la deriva, entre pulsaciones de crecidas producidas por precipitaciones torrenciales. La carta del SGM de 1930²⁵ registra los bañados y las obras de canalización realizadas (Figura 48).

La desecación de ese humedal hizo perder regularidad al flujo del arroyo, por lo cual comenzaron a formarse en la desembocadura, dos barras arenosas con direcciones opuestas, respondiendo a direcciones también contrarias de la deriva (Figura 49), debidas a que la altura del nivel del mar difiere según la dirección del viento. En efecto, cuando la deriva es hacia el Este, respondiendo a vientos del S o SW, la barra que se proyecta a partir de la margen W, avanza en dirección E, con un perfil transversal de mayor pendiente y conformando una playa más angosta. El *swell*, luego reconstruye una segunda barra desde la margen E, en dirección W, por delante de la anterior, de menor altura y pendiente, obligando al arroyo a generar un meandro en la propia playa.



Figura 48. En esta cartografía antigua, puede observarse la canalización realizada para desecar los bañados del Arroyo Pando (flecha roja), y la orientación de la desembocadura en el año 1920 (fecha del relevamiento). Fuente: Mapoteca, SGM.

²⁵/ *La Unión*. Cartas del Uruguay al 1:50.000. Hoja IX-29. Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados antes de 1920. Edición 1930. (Mapoteca, SGM).

A su vez para 1930, Legrand (1959) describe la existencia en la margen izquierda del Arroyo Pando de dos importantes sistemas dunares (Figura 49).

8.5.2. Evolución reciente de la desembocadura del Arroyo Pando y su dinámica

La granulometría de las playas de El Pinar-Neptunia es similar y de arena fina a media, proveniente de la deriva del E, siendo recirculada parcialmente en la desembocadura del Arroyo Pando, entre las dunas del arroyo y la playa, como se analizará más adelante. En el tramo de playa de El Pinar, la arena es ligeramente más gruesa hacia la berma que en la playa baja, en tanto en Neptunia no varía sustancialmente la granulometría por la posición. La orientación en la playa de Neptunia, si bien ha variado con el tiempo al retroceder el tramo de la desembocadura del Arroyo Pando, en la actualidad es de N17,3°W lo que implica que las olas de mar de fondo lleguen en ese tramo casi paralelas a la costa. En el tramo de playa de El Pinar la orientación varía a N24°W, lo que implica una aceleración del tránsito de sedimentos en dirección W, no obstante la barra de la desembocadura del Arroyo Pando y de otras vías de drenaje presentes en el mismo arco, como el Arroyo Carrasco tienen un sentido E. Ello se explica por la existencia de las dos derivas contrarias que se producen con alturas de mar sobre el nivel medio diferentes, como se explico *up supra*, los temporales del SW producen una berma alta que recuesta las vías de drenaje contra la costa y las orienta al E, luego la deriva se invierte pero con menor energía de ola, generando una berma más baja y ubicada por delante de la anterior, lo que suele torcer nuevamente la desembocadura en dirección contraria en la propia desembocadura.

En las fotos aéreas de 1943, puede observarse una activa forestación; con especies exóticas de género *Pinus* de los sistemas dunares de El Pinar. Esta forestación se torna notoria en la zona de estudio a partir de la década de 1950 y se la observa consolidada en las imágenes de la década de 1960, en la cual también la urbanización se ha consolidado.

En la década de 1940, comenzó también la forestación con eucaliptos y pinos de Neptunia, la que fue realizada incluso sobre el propio cordón dunar. Los árboles de alto porte, como producen un reparo



Figura 49. Vista panorámica de la desembocadura del Arroyo Pando. Foto: 19 de mayo de 1937, SSRFAU.

a barlovento de donde están ubicados, condujeron a la formación de nuevos cordones por delante, generando entonces un nuevo espacio, que también fue forestado. Este proceso redundó en que se programara urbanizar, lo que con anterioridad era playa (Figura 50).

Al alcanzar las olas un cordón forestado, las raíces de los árboles mantienen la verticalidad del corte producido, y con ello un cambio en la dinámica, con un retroceso acelerado del cordón, vinculado a la poca coherencia de las arenas del sustrato (la duna). Esto facilita el traslado de la barra hacia el continente, afectando rápidamente, en una primera instancia la zona con urbanización proyectada, y luego la efectivamente realizada.

Ante la constatación de que se estaba produciendo una severa erosión de la playa a montante de la deriva en un balneario consolidado (Atlántida), fue impulsada por el



Figura 50. Por encima de la foto del 22 de octubre de 1951 (escala 1:20.000), en la que puede observarse la ubicación original del cordón dunar (señalado en trazo grueso rojo), se despliega la foto del 25 de octubre de 1960 (escala 1:20.000), en la que se había forestado en la propia playa. En línea punteada blanca se indica la urbanización realizada; la manzana más próxima al mar (en blanco) ya ha desaparecido, así como parte de la calle de la manzana siguiente y la rambla costanera del arroyo. Fuente: aerofotografías, SSRFAU.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la construcción de espigones a partir del año 1970; continuándose hasta comienzos de la década de 1980, sin embargo, su instalación, contribuyó a acelerar el proceso, y a partir del penúltimo espigón²⁶ construido, por efecto de las pérdidas que generan las corrientes de retorno que producen su presencia, el acantilado sedimentario de 7 metros de altura (de origen cuaternario), ubicado a continuación del penúltimo espigón ha tenido un retroceso de más de 11 metros, entre 1985 y el 2003 (Gutiérrez y Panario, 2005, 2006).

En el año 1984 hubo un avance de la costa en la desembocadura del Arroyo Pando (recuperación) (Figura 51), posterior al año de ocurrencia de un evento de El Niño fuerte (Severov *et al.*, 2004) A partir de 1982, comienzan las migraciones frecuentes y de mayor magnitud en el desplazamiento de la desembocadura, que pueden relacionarse sobre todo con el déficit de arena que sufrió el arco de playa ubicado al Este, que podría explicarse por el efecto de la construcción de los espigones de Atlántida, y el efecto de interrupción de la deriva que estaría dejando sentir sus efectos retardados.

A comienzos de la década de 1990, se autorizó la extracción de arena de las dunas ubicadas en la propia barra ubicada al E de la desembocadura, la cual se realizó en algunos sitios hasta tal profundidad que en superficie asomaba la freática.

A partir del año 1995, comienza otro fuerte retroceso atribuible al menos en parte a la extracción de arena de la barra y procesos asociados (*blowout*). A partir de esa época, el proceso volvió a tener la misma intensidad (velocidad de pérdida de playa) que se aproxima a la del período de máxima pérdida (1951-1967).

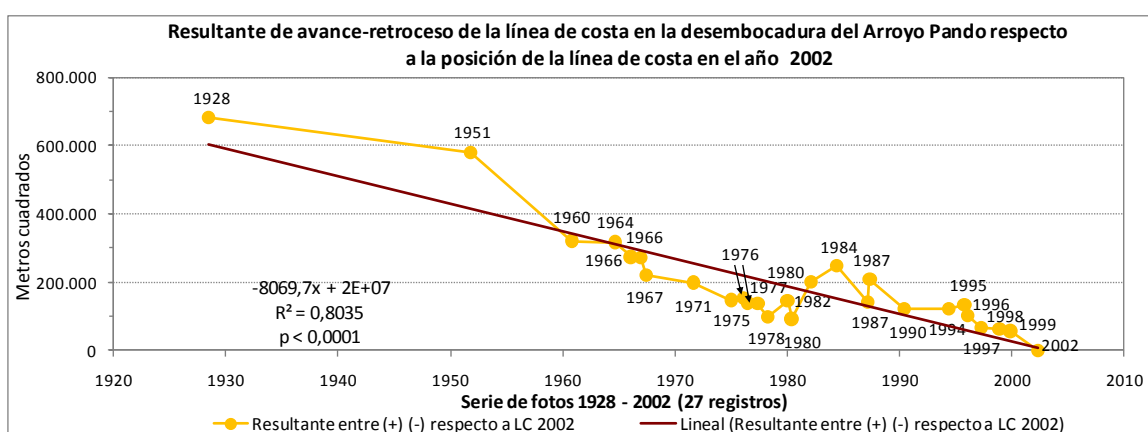


Figura 51. Evolución histórica del retroceso de la línea de costa, entre el año 1928 y mayo del 2002, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta desembocadura (27 registros), realizado usando como *proxy* la **línea de marea alta previa (LMAP)**, siendo la pérdida de territorio en este caso altamente significativa con una $p < 0,0001$.

²⁶/ Los espigones no fueron diseñados originalmente para condiciones de deriva litoral.

Si bien las migraciones de las desembocaduras son procesos naturales, muchas veces estos procesos, se retroalimentan con las intervenciones antrópicas.

Para su análisis se toma como fecha inicial el año 1928 (correspondiente al relevamiento de campo de la Hoja La Unión IX-29, Tabla 1, pág. 14) que es el primer registro gráfico en el cual la zona de la desembocadura del Arroyo Pando se encuentra con una configuración similar a la actual. Los análisis tendenciales de la desembocadura del Arroyo Pando fueron realizados con una serie de 27 imágenes y cartas (período 1928-2002) las que denotan que la evolución del área de playa, tiende a disminuir $8.069 \text{ m}^2/\text{año}$ con una tendencia altamente significativa ($p < 0,0001$) (Figura 51), usando como indicador la **línea de marea alta previa (LMAP)**, y a partir de los datos obtenidos luego de intersecar la posición de línea de costa de cada registro fotográfico contra el artefacto **línea de año base 2002**, como fuera explicado *up supra* (ítem 6.5. *Medidas de retroceso - avance de la línea de costa y otros indicadores*, pág. 24; Figuras 8 y 9, págs. 25 y 26). Se utilizó el *proxy* **LMAP** como indicador de línea de costa, por ser el único claramente identificable para toda la serie (ítem 6.4.2. *Digitalización de las líneas de costa de las desembocaduras*, pág. 24).

El **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza el balance por el largo de la línea de costa, tipifica a los cambios como **fuertes**, con un resultado por metro lineal de playa un orden de magnitud por encima que los valores del resto de los sitios en estudio (**-2,45 m^2** de pérdida de arena por metro lineal de costa) (Tabla 7, pág. 44).

Por lo tanto, del análisis de la serie multitemporal obtenida para la desembocadura del Arroyo Pando, surge una pérdida de superficie de 683.357 m^2 para un frente de playa de 3.220 m de longitud (sector comprendido entre los transectos del artefacto utilizado para medir el retroceso) registrado en el período 1928-2002 (Figura 52), lo que origina

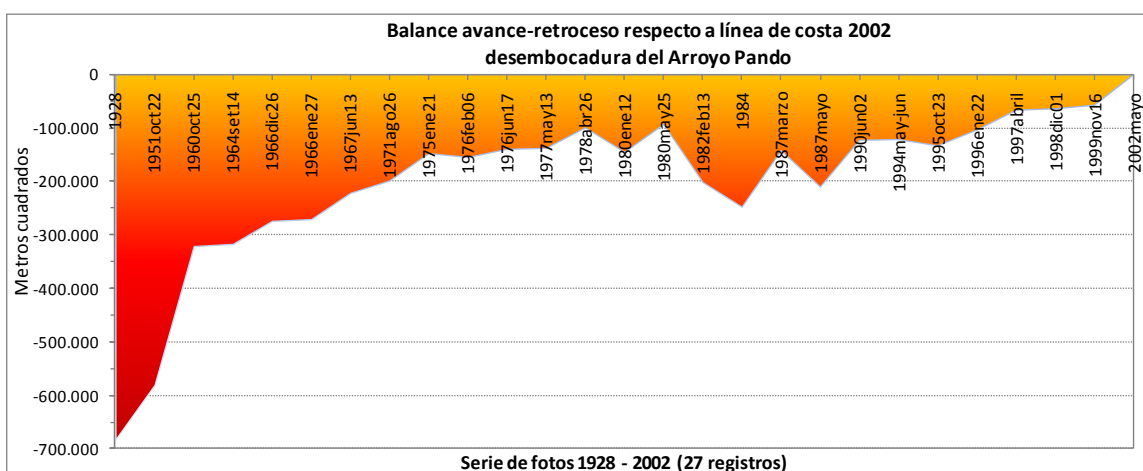


Figura 52. Evolución de las pérdidas de territorio en la desembocadura del Arroyo Pando durante un período de 74 años. Más allá de algunos eventos de progradación, la tendencia al retroceso de la línea de costa es clara y persistente en el tiempo.

directamente un impacto importante por pérdida de territorio, sobre todo del balneario Neptunia (ubicado hacia el E).

De la comparación de las imágenes y cartografía existente desde 1928 al presente, puede apreciarse un retroceso de 480 m de la línea de costa de la playa de El Pinar para el período en estudio; aunque este retroceso se hace notorio y persistente a partir de 1950. Sin embargo la orientación del tramo inferior del Pando que entre 1928 y 1936 era N-S, ya en 1943 se había comenzado a desplazar contrariamente a lo que era dable esperar, hacia el Este, en dirección contraria a la deriva litoral predominante, la que según Panario y Gutiérrez (2006) a partir de Cabo Polonio tiene una dirección predominante E-W.

8.5.3. Relaciones entre el sistema fluvial, el sistema dunar y las playas

A los efectos de determinar la importancia de la contribución del sistema dunar en contacto directo con el cauce del Arroyo Pando, primero se determinó la longitud a partir de fotointerpretación, dando un resultado de 3.100 metros lineales de contacto con el campo dunar. Para estimar los volúmenes aportados en ese frente, se realizaron los cálculos a partir de la ecuación de Fryberger *et al.* (1984) ajustada por Panario y Piñeiro (1997) a nuestras condiciones.

Utilizando el perfil de vientos de las estaciones de Carrasco y Punta Brava (Piñeiro, 2010), se seleccionaron los volúmenes transportados por aquellas direcciones que aportaban arena directamente al arroyo, siendo las mismas, S, SW y W (Figura 53, Tabla 8), resultando en un transporte por metro lineal de contacto de 20 m³/año.

Multiplicando el volumen transportado, por los 3.100 m de contacto, se obtiene un aporte neto anual desde el sistema dunar de 62.000 m³. Para estimar el período desde el cual el sistema no conto

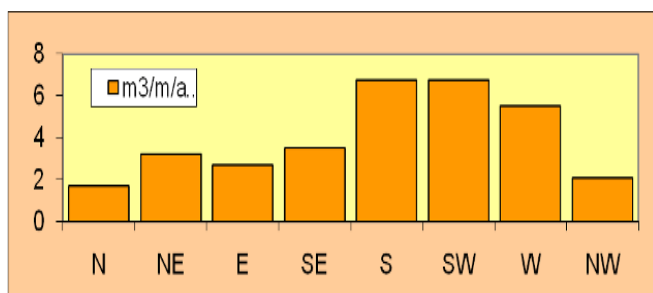


Figura 53. Volumen estimado de transporte de arena por metro lineal para el perfil de viento de las estaciones meteorológicas de Carrasco y Punta Brava (Piñeiro, 2010).

Tabla 8. Volúmenes transportados de arena según direcciones de viento calculado para datos de las estaciones meteorológicas de Carrasco y Punta Brava (Piñeiro, 2010).

Rumbo	m ³ /m/año
N	2
NE	3
E	3
SE	4
S	7
SW	7
W	6
NW	2

más con ese aporte, se tuvo en consideración que la fijación de las dunas por forestación se comenzó por la década del año 1940, continuando el proceso de fijación por la urbanización, pudiéndose considerar que el sistema dunar de El Pinar se encontraba fijado completamente en 1960, y por tanto pasando a ser negligibles sus aportes. Tomando para el cálculo, los 42 años del período que median entre 1960 y el año 2002 (fecha de la imagen tomada como año cero para todos los cálculos del Pando), se obtuvo un volumen de 2.604.000 m³ de aporte total perdido por esta componente del ciclo sedimentario costero para la desembocadura del Arroyo Pando.

Dado que para ese mismo período (1960-2002) el retroceso de la playa efectivamente medido implicó una pérdida de 312.524 m². Considerando una altura del prisma de playa promedio de 3 metros, se pueden estimar en unos 964.574 m³ de respuesta directa del sistema mediante retroceso de la línea de costa.

Por lo tanto, si restamos este último valor a la cifra de aportes directos no efectuados por el sistema dunar, quedaría aun por explicar un faltante de aportes de 1.639.425 m³, que el sistema debe reponer de otras fuentes, o el retroceso de la línea de costa debía haber sido mayor, de no haber tenido un aporte adicional de 39.033 m³/año.

Esta cifra resulta razonable, habida cuenta de los valores estimados de deriva litoral para la zona (MTOPI/PNUD/UNESCO, 1979). Una fuente para compensar este déficit que estaría sufriendo el sistema pudo provenir parcialmente de la intensa erosión de la margen E (Neptunia) debida a la migración del último tramo del Arroyo Pando. Otra fuente de compensación podría estar dada en la puesta en circulación del *stock* que según Gutiérrez y Panario (2005) se había acumulado en forma de abanico subacuático frente a la desembocadura mientras estuvieron activos los aportes del sistema dunar. Así mismo, se deben contar los sedimentos que se hallaban en tránsito dentro del propio cauce a los largo de los 5.000 metros que median hasta la desembocadura, y que han seguido saliendo. Por otra parte, no es de desestimar la posibilidad de un aumento del tránsito de la deriva litoral para esta zona, al haber cambiado la dirección normal a su tangente de la línea de costa por el retroceso, dado que en la primera mitad del siglo XX la progradación de la zona de desembocadura que se proyectaba hacia el mar, y por tanto las olas de *swell* llegaban con otro ángulo a esta zona, y por la misma razón debían ser otros los volúmenes transportados.

Por otro lado, se realizó la estimación de los aportes anuales que estaría realizando el Arroyo Pando desde su propia barra ubicada al E de la desembocadura, donde para 1.000 metros de contacto, se aporta un volumen anual de 20.000 m³/año.

Queda de manifiesto la importancia de los aportes de los sistemas dunares al ciclo de la arena, y a la conservación de las playas aledañas a las desembocaduras, y también sus presumibles efectos en otras playas ubicadas en la dirección de la deriva litoral.

8.6. ARROYO CARRASCO, CARRASCO - SAN JOSÉ DE CARRASCO

8.6.1. Antecedentes históricos

No se dispone de crónicas antiguas que aporten información relevante para la dinámica de la desembocadura del Arroyo de Carrasco. El Arroyo Carrasco denominado Carrasco del Plata en la cartografía antigua, desaguaba los bañados del mismo nombre, conformados por la colmatación de una laguna presumiblemente holocénica que recibía las aguas de los Arroyos Toledo y Manga. Estos bañados sufrieron una canalización para su desecación en la década de 1940, obras que tuvieron un proceso de ampliación y mantenimiento a comienzos de la década de 1970.

El primer registro encontrado que aporta alguna información es la cartografía del SGM de 1920²⁷, en ella se califica a los terrenos que circunvalaban al arroyo en ambas

márgenes como “terrenos arenosos” (Figura 54), y no como arenales o médanos como se denomina usualmente en este tipo de cartas a las dunas móviles, de donde se deduce -y así lo confirman las fotos aéreas previas a la urbanización, en las que no se observan estructuras de dunas-, que no recibía en su cauce volúmenes importantes de arena eólica.

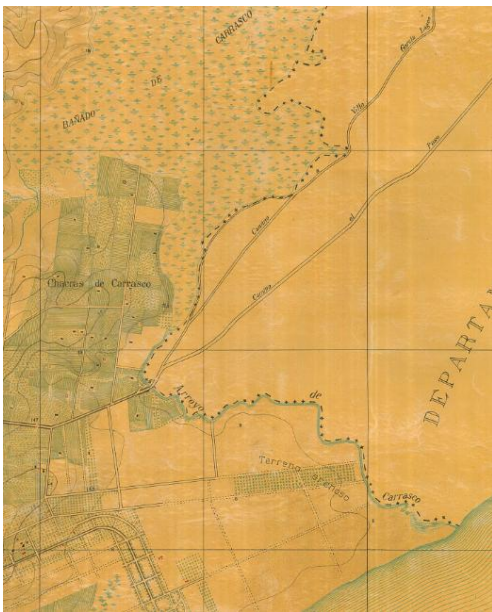


Figura 54. Pueden observarse los bañados de Carrasco antes de las obras de desecación, y la presencia de terrenos arenosos en ambas márgenes, con pocas intervenciones aun en esa época (la carta recoge información anterior a 1920). Fuente: Mapoteca, SGM.

Entre los años 1939 y 1945 se construyó un puente a 800 metros de la desembocadura para facilitar la comunicación entre Montevideo y las grandes canteras de extracción de arena que se ubican sobre todo en las cercanías del arroyo en el Departamento de Canelones. Entre 1954 y 1961 ambas márgenes presentan un rápido proceso de urbanización. A su vez en el 1954, ya comenzaba la construcción de un nuevo puente a 200 m de la costa.

En 1970 es el primer registro en que el arroyo desemboca perpendicular a la línea de costa, hasta ese momento todos los registros lo muestran en diferentes

^{27/} Carrasco. Carta del Depto. de Montevideo. Escala 1:20.000. Hoja E. Servicio Geográfico Militar. Levantamientos efectuados para la zona de interés en 1916. Edición 1920. (Mapoteca, SGM).

posiciones pero siempre migrando hacia el E, incluso en 1945 se encuentran las estructuras que marcan el mayor desplazamiento paralelo a la costa (1350 metros). En el 1972, la Dirección de Hidrografía del MTOP, construyó una estructura para interceptar el curso, cortando la barra para abrir una salida directa (MTOP/PNUD/UNESCO, 1979), que se observan en la imagen de 1979, en la desembocadura se le construye un muro de unos 100 metros en la margen E para evitar sus migraciones. Para el 2000, el arroyo vuelve a migrar hacia el E, quedando el resto del muro de contención dentro de la barra de la margen W.

En la gráfica puede observarse la evolución del sector de playa asociado a la desembocadura, el cual ha fluctuado con el patrón característico de las playas de Montevideo en estudio, sin embargo se diferencia de estas en que hasta 1970 las fluctuaciones muestran una cierta preeminencia hacia la pérdida de playa, que luego se revierte, presumiblemente según el informe del MTOP/PNUD/UNESCO (1979) al comenzar a recibir volúmenes significativos de sedimentos como consecuencia de las obras de canalización realizadas en esa época. Las obras de canalización y limpieza abarcaron los cursos superior y medio, donde atraviesa una zona de bañados constituida por antiguas arenas.

8.6.2. Evolución reciente de la desembocadura del Arroyo Carrasco y su dinámica

En el sector de la desembocadura del Arroyo Carrasco la playa está orientada al Sureste, por lo cual el oleaje más persistente del *swell* incide casi normal a su costa produciendo un transporte litoral de sentido E-W de poca entidad.

Para su análisis se toma como fecha inicial el año 1939, correspondiente al relevamiento primer registro fotográfico de la desembocadura del Arroyo Carrasco. Los análisis tendenciales de la desembocadura del Arroyo Carrasco fueron realizados con una serie de 19 imágenes (período 1939-2008) las que denotan que la evolución del área de playa, tiende a crecer $202 \text{ m}^2/\text{año}$ con una tendencia significativa al 85% (Figura 55), usando el *proxy* **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**, y a partir de los datos obtenidos luego de intersecar la posición de línea de costa de cada registro fotográfico contra el artefacto **línea de año base 2008**, como fuera explicado *up supra* (ítem 6.5. *Medidas de retroceso - avance de la línea de costa y otros indicadores*, pág. 24; Figuras 8 y 9, págs.25 y 26). Se utilizó el *proxy* **LSH-ZAIO** como indicador de línea de costa, por estar claramente identificable para las condiciones de la zona.

El **Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP)** que relativiza el balance por el largo de la línea de costa tipifica a los cambios como **moderados** (Tabla 7, pág. 44).

Los retrocesos observados no guardan relación en el caso de Carrasco con los temporales que han dejado señales en la mayoría de las playas urbanas de Montevideo, por ejemplo no existe señal de retroceso en el año 1970, seguramente asociado a la mayor disponibilidad de sedimentos fruto de las obras de canalización del bañado, y se

diferencia al igual que Malvín de las otras playas analizadas, por no registrar significativamente los efectos de los temporales del 2005.

Del análisis de la serie multitemporal obtenida para la desembocadura del Arroyo Carrasco, puede observarse que si bien existe una tendencia al crecimiento del área de playa, en la gráfica se expresan claramente las fluctuaciones de la ubicación de la línea de costa respecto al año tomado como **cero** (Figura 56).

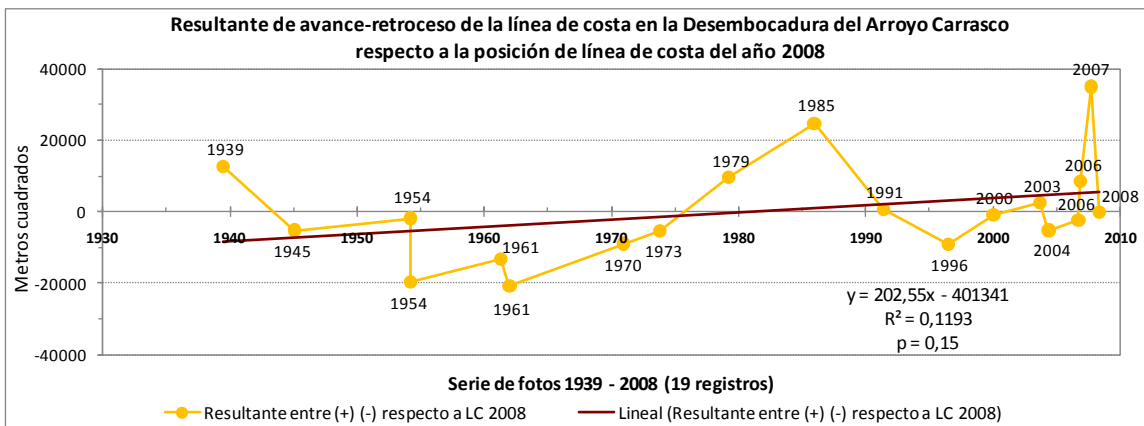


Figura 56. Evolución histórica del avance-retroceso de la línea de costa, entre el año 1939 y abril de 2008, confeccionado a partir de todos los registros obtenidos para esta desembocadura (19 registros), realizado usando como *proxy* la **línea seca/húmeda o zona actual de infiltración de la ola (LSH-ZAIO)**. Para esta serie de fotos, la línea de tendencia por regresión lineal indica un leve incremento de la superficie de playa, significativo estadísticamente (85%).

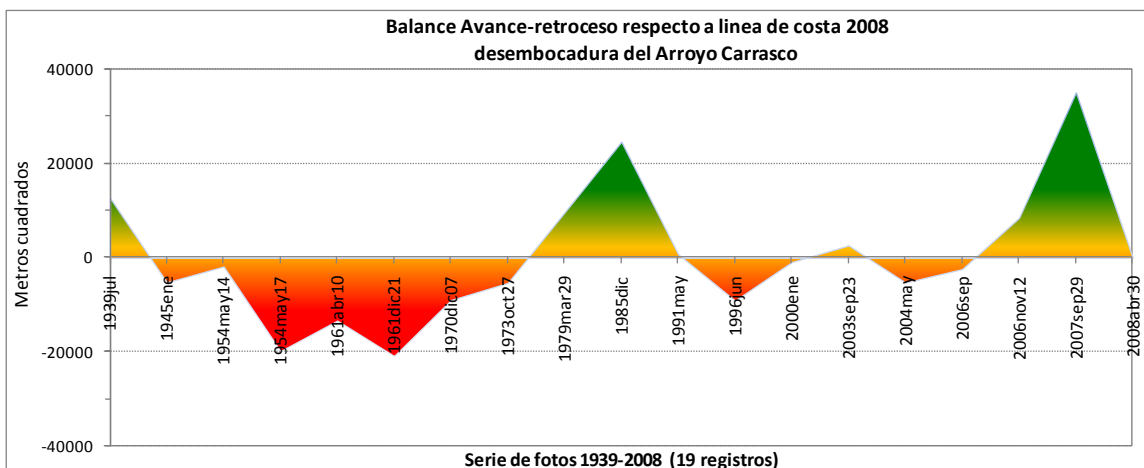


Figura 56. Fluctuaciones de la superficie de costa respecto a un año considerado como cero a partir del cual se realiza el análisis (2008), en el tramo analizado de la desembocadura del Arroyo Carrasco.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL COMPORTAMIENTO CONJUNTO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Como se mencionó precedentemente, a los efectos de explicar las oscilaciones frecuentes en términos de pérdida-ganancia de superficie de playa, fueron exploradas los diversos forzantes climáticos que pudieran explicar los cambios observados en la mayoría de los casos de respuestas coincidentes en todas o la mayoría de las playas, a pesar de las notorias diferencias en los parámetros físicos de los arcos y desembocaduras analizadas. En efecto, se observan diferencias notorias en orientación y composición mineralógica, de lo que se desprende diversidad de fuentes de sedimentos. Ramírez y Pocitos tienen orientaciones casi opuestas, sin embargo, presentan composición mineralógica similar (origen principalmente del atrito de rocas de la Fm. Montevideo); pero sus derivas son divergentes, constituyendo dos playas independientes entre sí y de las demás playas de Montevideo (ver Figura 12, pág. 32).

Ramírez tiene diferencia estadísticamente significativa en la mineralogía de su arena con $p < 0,01$ con Buceo y Malvín, pero no con Pocitos. Pocitos con igual nivel de significación se diferencia de Malvín y Buceo. Dado que Carrasco y Pando tienen similar fuentes de sedimentos que Malvín, seguramente también se diferencian de Pocitos y Ramírez (Panario *et al.*, 2008b). De lo expuesto se deduce, que las playas en estudio tienen al menos dos fuentes de sedimentos diferentes, más allá de la diferencia que implica para las desembocaduras (fundamentalmente para la del Arroyo Pando) el aporte desde la propia vía de drenaje, estos sedimentos por ser mayormente de recirculación, no se expresan claramente en su mineralogía.

Las playas en estudio presentan además diferentes orientaciones: Malvín netamente orientada al S, Ramírez al W, Pocitos al E, teniendo el resto orientaciones intermedias; tienen a su vez diferentes gradientes de profundidad, que las hacen variar de disipativas a intermedias, y casi reflectiva en parte de la Brava de Malvín, en razón de todo ello resulta particularmente relevante analizar las causas de las coincidencias en su comportamiento a través de los años.

Se exploraron períodos de precipitaciones particularmente intensas en las cuencas de los arroyos Pando y Carrasco, a los efectos de determinar si el aporte de sedimentos de estos, se manifestaba rápidamente en el área de playa expuesta en sus desembocaduras.

Se exploraron coincidencias de relevamientos aerofotográficos posteriores y cercanos en el tiempo (entre meses a un año) con eventos excepcionales de tormentas del SSE que producen crecientes significativas del nivel del mar (sudestadas), encontrándose tres eventos de coincidencia con elevaciones de más de 2 msnm o más. Es de señalar, que los temporales de más de 2 msnm son los que superan el prisma de las playas en estudio, en la mayor parte de su superficie.

También se exploró la existencia de relación entre las crecientes de los ríos Paraná y Uruguay, en forma individual y conjunta, dado que se sabe provocan subidas del nivel medio del Río de la Plata (Bidegain *et al.*, 2005; Nagy *et al.*, 2005), y con ello la eventualidad del retroceso de la línea de costa.

Menéndez y Re (2005), sostuvieron que la contribución de las crecientes de los ríos Paraná y Uruguay al nivel medio del Río de la Plata podía ser casi imperceptible a la altura de Montevideo estimándola por modelos; más recientemente otros autores, sostienen que estas crecientes pueden realizar una contribución mayor. Así, sobre la base de datos empíricos sostienen que el estuario del Río de la Plata entre 1902 y el 2003, ascendió en su nivel medio en el entorno de los 11 cm en Montevideo y 17 cm en Buenos Aires (Forbes, 2002; Bidegain *et al.*, 2005; Nagy *et al.*, 2005; Magrin *et al.*, 2007; Bidegain y Nagy, 2008), como consecuencia del Cambio Global (Bidegain *et al.*, 2005). Sin embargo, estos pulsos de crecientes no tuvieron correlación con los retrocesos de la línea de costa de las playas de Montevideo (pérdida de área de las playas).

Finalmente, se analizó la existencia de relaciones de la evolución de las playas y eventos como El Niño y La Niña, con el último de los cuales había una importante serie de coincidencias entre el mismo y la proximidad de un registro fotográfico.

9.1. CRECIENTES EXTRAORDINARIAS

Se encontraron coincidencias entre registros de fotos aéreas y tempestades previas en los años 1943, 1993 y 2005, aunque no se dispone de estas fotos para todos los sitios analizados, la señal estuvo presente en todos los casos en que hubo coincidencia si exceptuamos a Malvín (sí se registra para la Brava de Malvín).

Malvín tuvo señal en la superficie de arena seca, pero no en la playa total, lo que puede ser interpretado que durante las sudestadas recibe sedimentos del cuello del tómbolo al superar las olas su altura máxima, y con eso compensa las pérdidas vinculadas a estos eventos.

9.2. PRECIPITACIONES EXCEPCIONALES

No se detectaron tendencias claras vinculadas a eventos de precipitaciones extraordinarias en las cuencas de los arroyos Pando y Carrasco, inferidas a partir de registros en las estaciones meteorológicas ubicadas en sus cuencas.

Por lo tanto, dada la coincidencia en órdenes de magnitud entre pérdidas de aportes de arena al cauce del Arroyo Pando, y los retrocesos del sector de arco de playa, debiera explorarse la incidencia que pudieran tener las anomalías de precipitación por sobre los eventos extremos.

9.3. CRECIENTES EN LA CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA

La comparación entre estos eventos y la situación de estas playas del estuario medio, contrariamente a lo esperable, muestra que el período en que Pocitos, Ramírez y también Malvín, presentan la mayor recuperación, resulta coincidente con las mayores crecientes de los ríos Paraná y Uruguay, y por tanto con las mayores alturas del nivel medio del Río de la Plata. De lo que se desprende que no existe correlación negativa entre la superficie de playa y estos eventos.

9.4. ANOMALÍAS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERAL

De los trabajos de Severov *et al.* (2004), Nagy *et al.* (2007, 2008) y Bidegain y Nagy (2008) se desprende que existe señal en el atlántico sud occidental de los eventos El Niño y La Niña, con un debilitamiento de la corriente de Malvinas y un fortalecimiento de la corriente de Brasil para el primero y la inversa para la segunda. De ello puede deducirse la hipótesis, de que podrían asociarse a La Niña una mayor incidencia de vientos fuertes del cuadrante Sur y más específicamente de los vientos del SW; y asociarse a los años de El Niño un incremento de los vientos provenientes del N y de las direcciones comprendidas del E al SE.

Habiendo coincidencia entre eventos de La Niña y retrocesos de la línea de costa en todas las playas analizadas, se decidió probar estas hipótesis de que anomalías de circulación podrían explicar los retrocesos observados, para lo cual fue utilizado el modelo NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996) que usa el modelo de circulación de la NOAA, con la realización de un reanálisis de los cuadros sinópticos del NCEP una vez ocurridos, y por tanto casi sin margen de error al correr el modelo hacia el pasado, sobre datos ciertos.

Para realizar el reanálisis, se consideraron los eventos de ocurrencia de La Niña de intensidad media o intensa, o eventualmente débil si ocurrió en el marco de una serie (como por ejemplo: 1973C+, 1974C- 1975C+); focalizando como variable las anomalías a nivel de vientos zonales de superficie, se observa en la zona costera Uruguaya, una anomalía positiva de vientos del cuadrante SW (Figura 57).

Las anomalías a su vez se producen en años normales, y es así que el año 1970, coincide con retrocesos de la línea de costa en todas las playas, dado que fue un año anómalo por la mayor frecuencia de vientos del SW, aunque no coincida con la ocurrencia de La Niña (Figura 58).

Si el reanálisis se realiza sobre los eventos El Niño, la anomalía es inversa con dominio de vientos provenientes del N y de direcciones que comprenden del E al SE en la zona costera, con independencia que se tome sólo los eventos de El Niño fuerte, o todos los reportados desde 1950 al 2004 (Figura 59).

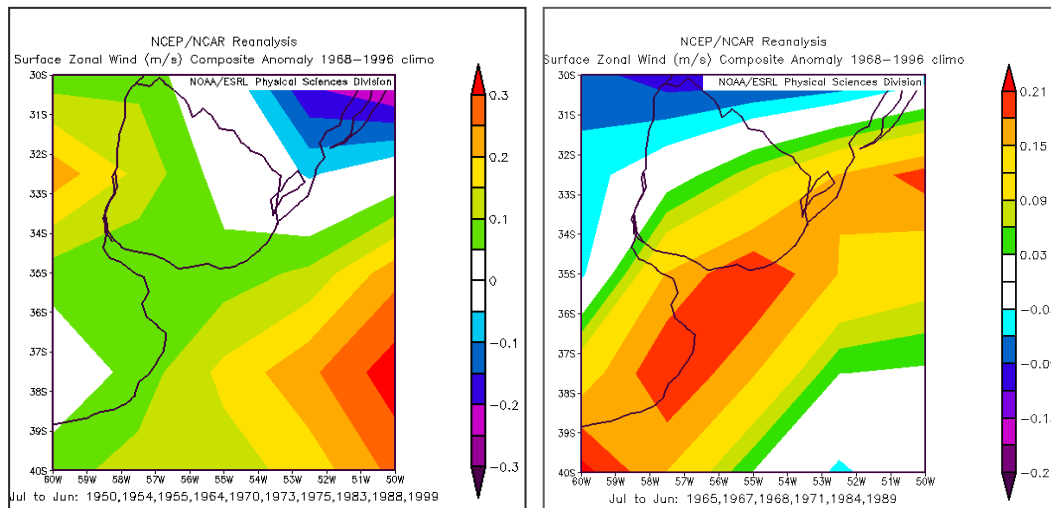


Figura 57. Reanálisis de anomalías de vientos para el período 1968-1996. Izquierda: para todos los años con señal de La Niña. Derecha: para aquellos años con La Niña con señal fuerte. La alta correlación obtenida indica un alto nivel de significación entre las bases de datos del NCEP/NCAR y los datos de las series históricas de ocurrencia de La Niña para los períodos de retroceso de la línea de costa. Este hecho se asocia a que durante estos eventos suelen ocurrir anomalías positivas de frecuencias e intensidades de vientos del cuadrante SW.

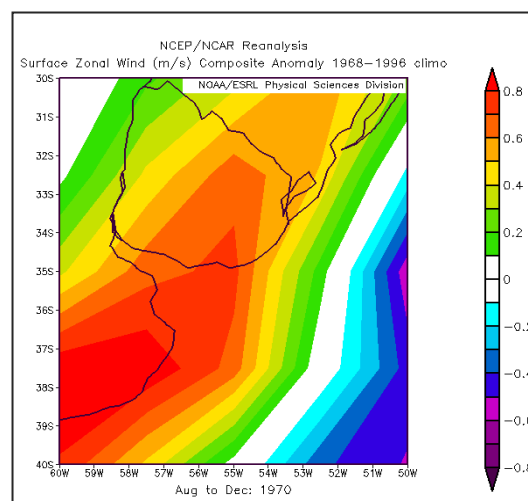


Figura 58. Reanálisis de anomalías de viento para agosto de 1970.

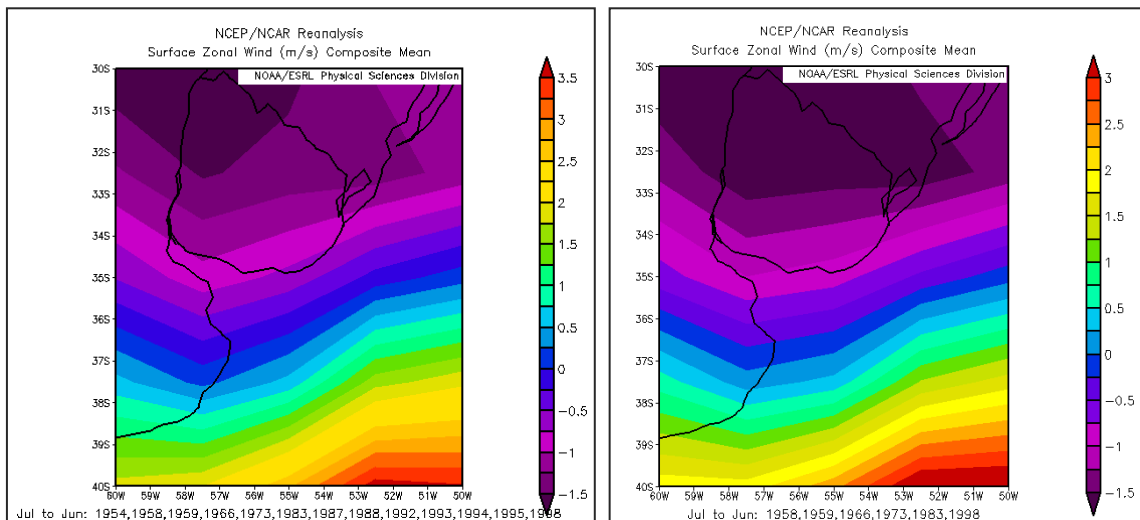


Figura 59. Reanálisis de anomalías de vientos para el período 1954-1998. Izquierda: para todos los años con señal de El Niño. Derecha: para aquellos años con El Niño con señal fuerte. Los valores son similares para ambos análisis.

El comportamiento observado puede ser interpretado en el sentido de que los vientos del SW que generan olas de corto período e invierten la deriva en la mayoría de las playas analizadas (excepto Ramírez), y aunque elevan menos el nivel de las aguas que los del SSE, producen retrocesos de la línea de costa, los que luego son compensados durante períodos normales o eventos El Niño, en los cuales se invierte la **anomalía de vientos**.

En el caso particular de Ramírez, playa en que la deriva coincide con los vientos del SW, si bien esta no se modifica, la playa al quedar enfrentada directamente a estos vientos, igual recibe el impacto de los mismos si ocurren con una frecuencia mayor a la normal.

La fuerte ganancia de área de la playa Ramírez en el año 1961, se puede correlacionar a la existencia de una ligera anomalía de vientos del SE, que habrían reforzado la ocurrencia del *swell*; aunque con menor expresión, también se observan respuestas de crecimiento del área de arena expuesta en Pocitos, Buceo, Malvín y Brava (Figura 60).

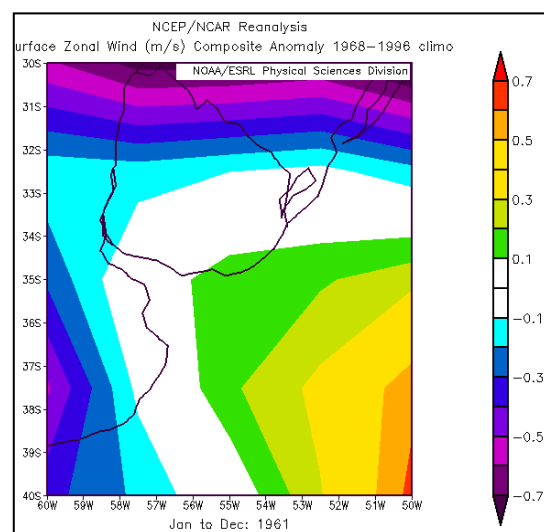


Figura 60. Reanálisis de anomalías de vientos para el año 1961.

Durante la ocurrencia de los eventos de La Niña, el Río de la Plata a la altura de Montevideo, se encuentra entre -5 a -10 cm por debajo de su nivel medio climático y durante los eventos El Niño se encuentra entre +5 a +10 cm por encima del mismo (Nagy com. pers.), sin embargo, las playas son más impactadas durante los eventos La Niña, debido a una mayor frecuencia de ocurrencia de vientos del SW, mientras que durante los eventos de El Niño una disminución en la frecuencia de vientos del SW, se expresa en las playas de Montevideo por su relativa estabilización o por su ganancia en área expuesta.

10. CONCLUSIONES

Las playas urbanas analizadas son en la actualidad, más sensibles al manejo de las mismas y a otros efectos antropogénicos directos, que a la elevación del nivel medio del Río de la Plata, y ello puede deberse a un cambio hasta ahora favorable a las mismas de la circulación atmosférica general.

Las fluctuaciones observadas en las playas analizadas serían en principio respuesta a tempestades del SSE de más de 2 metros de elevación en el nivel de las aguas, y/o de años con anomalías positivas de vientos del SW, mayoritariamente asociados a eventos La Niña.

La aparente resiliencia de la mayoría de las playas de Montevideo, puede estar asociada a los cambios de circulación atmosféricos acaecidos fundamentalmente en los últimos cuarenta años, en los que se constata una disminución en la frecuencia de grandes tempestades del SSE (dos años con estos eventos desde 1975 a la fecha), y a un incremento de la frecuencia y velocidad de los vientos del ESE, concomitante con disminución de los del N y un aumento de periodos de calma.

A partir de los datos obtenidos en el balance sedimentario primario, debiera evaluarse en el ciclo de la arena, el rol de las vías de drenaje que reciben aportes significativos de arenas provenientes de dunas o de otras fuentes, y su relación con los cambios en los sectores de arcos de playa asociados a ellas.

De los resultados de esta tesis, si bien puede desprenderse que las playas Ramírez, Pocitos, Buceo y Malvín, se encuentran aún en un estado de resiliencia, y por tanto, no estarían sufriendo en lo inmediato cambios sustanciales en su conformación; un llamado de atención merecen los cambios que pueden ocurrir con alta probabilidad en un mediano plazo. En efecto estas playas tienen muy poca expresión espacial por encima de 1,70 msnm que es la altura de la crecienta extraordinaria media (MTOP/PNUD/UNESCO, 1979), y por tanto, dado que los grandes impactos actuales se producen con subidas de 2 m, bastaría una subida del nivel medio de 0,30 msnm, para que alcancen un punto crítico.

Frente a las actuales condiciones de subida del nivel medio del mar, de todas las playas en estudio, con sus actuales condiciones y sin modificaciones sustanciales en su manejo y gestión, sólo una parte de la playa Malvín (sector ubicado al SW de la misma), estaría en condiciones de volver a recrear sus estructuras, y por tanto mantener sus servicios ecosistémicos, en particular conservar zonas de arena seca para mantener su uso recreativo y de socialización.

De mejorarse el manejo y la gestión, no es descartable que se pueda obtener una recuperación de algunas de las playas analizadas, o al menos frenar por un tiempo su retroceso.

Sin embargo, la mencionada poca expresión en superficie de estas playas por encima de los 1,70m, restringe las posibilidades de recuperación de estructuras (cordón dunar) mediante procedimientos de tablaestaqueados, al quedar expuestos a su removilización por crecientes de ocurrencia frecuente.

10.1. CONCLUSIONES METODOLÓGICAS

Parece oportuno resaltar, que se estima pertinente a partir de los resultados obtenidos en el análisis multitemporal de imágenes, usar más de un registro *proxy* de posición de línea de costa, para poder interpretar mejor las respuestas a los diferentes fenómenos que actúan sobre las playas, dado que no siempre las respuestas se expresan en todos, o no lo hacen con la misma intensidad. Lo dicho no obsta a que si se quiere tener clara noción del funcionamiento actual y su perspectiva futura, en un escenario de Cambio Global, se deba tener un registro tan completo como posible de la historia anterior incluso del Holoceno, pues parte de lo que ocurre en el presente puede ser aún inercia de un pasado más o menos remoto.

Para el análisis de sistemas tan frágiles como los costeros, se entiende pertinente retroceder tanto como sea posible en el tiempo, para comprender los procesos a los que el mismo ha sido sometido y que inercias puede tener del pasado, usando para ello todos los registros disponibles, incluidos también las crónicas de viajeros, o cartas antiguas; a los efectos de poder seleccionar *a posteriori*, con conocimiento de causa, cual es el período a partir del cual se pueden hacer los análisis de significancia estadística, o sea conocer el devenir del sistema, para poder diferenciar entre diferentes estados del mismo, en estudios que abarcan escalas de tiempo prolongadas.

Sin embargo se considera necesario destacar, que estos análisis retrospectivos, si no son realizados en un marco de rigurosidad metodológica, conocimiento de los archivos (ordenamiento, procesos de catalogación, etc.), adecuado relevamiento de metadatos, y conocimiento del funcionamiento de los sistemas en estudio, se puede incurrir en errores de interpretación de los resultados obtenidos.

11. A MANERA DE EPÍLOGO

Cuando esta tesis fue iniciada, el conocimiento que se tenía del funcionamiento de las playas uruguayas, en especial las urbanas, estaba restringido al conocimiento básico de los procesos de transporte y depositación de la arena, vinculadas a fases de acreción relacionados al *swell* y a fases de erosión relacionadas con la ocurrencia de temporales, así como a la distribución relativa de estos procesos según la época del año.

Por tanto, fue elegido (no había otra opción) un enfoque clásico, donde la observación, la clasificación, y la rigurosidad del método centrado en el análisis de las partes en busca de respuestas, fueron los que prevalecieron, al considerar que primero se debía contribuir al conocimiento de los procesos y a la jerarquización de los mismos como gestores del cambio. Y por otra parte, que debía optimizar los procesos metodológicos con el uso de registros cartográficos y fotográficos, a partir de la situación excepcional que ofrecían estas playas urbanas con registros numerosos y antiguos, hecho este excepcional aún en la literatura internacional.

Recién ahora, con el conocimiento que esta tesis aporta, y el de otros avances logrados en conjunto con el equipo de investigación del que participo en el marco de la UNCIEP, concibo que se puede arribar a otras etapas de abordaje, donde prevalezcan la síntesis, la especulación argumentativa, la integración sistémica y el enfoque holístico (según los conceptos de Capra, 1982). Ahora es el momento de hacerme nuevas preguntas, recién ahora pueden las preguntas prevalecer sobre el ansia de obtener respuestas concretas sobre el funcionamiento del sistema, es en este preciso momento, que se puede hacer un alto, y dejar volar la imaginación. Ahora las hojas ya no impiden ver el bosque, ahora hay espacio para un nuevo enfoque, y aún el tiempo está a mi favor.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J.R.L. 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: A review sketch from the Atlantic and southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1155–1231.

Anders, F.J., M.R. Byrnes. 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59: 17-26.

Barrios Pintos, A. 1971. *Montevideo, Los Barrios I*. Editorial Nuestra Tierra. Impresora Rex S.A., Montevideo.

Barton, C.C., J.S. Dismukes, R.A. Morton. 2003. Complexity analysis of the change in shoreline position at Duck, NC. *Proceedings Coastal Sediments, '03*, 7p.

Bidegain, M.; F.R.M. Caffera, F. Blixen, V. Pshennikov, J.J. Lagomarsino, E.A. Forbes, G.J. Nagy. 2005. Tendencias climáticas, hidrológicas, y oceanográficas en el Río de la Plata y Costa Uruguaya. En: Barros, V., A. Menéndez, G. Nagy. (Eds): El Cambio climático en el Río de la Plata. Buenos Aires, CIMA/CONICET, cap. 14, pp. 137-143.

Bidegain, M., G. Nagy. 2008. *Reporte Final del proyecto "Building capacity in Coastal Climate Change and Variability: PRECIS-based climate models downscaling in Uruguay"*. Facultad de Ciencias, UdelaR; Unidad de Cambio Climático, MVOTMA; British Embassyen Uruguay. 34 pp.

Boak, E.H., I.L. Turner. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4): 688–703.

Brazeiro A., O. Defeo. 1999. Effects of harvesting and density-dependence on the demography of sandy beach populations: the yellow clam *Mesodesma mactroides* of Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 182: 127-135.

Brazeiro, A. 2000. Biodiversidad en hábitats costeros: playas y puntas rocosas de Uruguay. En: Domínguez, A. R.G. Prieto. (Eds.): *Perfil ambiental del Uruguay 2000*. Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo, 127-141 pp.

Brazeiro, A., S. Méndez, G. Ferrari. 1997. The first toxic bloom of *Alexandrium tamarense* in Uruguay: associated environmental factores. *Atlántica*, 19: 19-29.

Brunn, P. 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbors Division, Proc. ASCE*, 88(WW1): 117-130.

Brunsdon, D., R. Moore. 1999. Engineering geomorphology on the coast: lessons from west Dorset. *Geomorphology*, 31: 391-409.

Butt, T., P. Russell. 2000. Hydrodynamics and cross-shore sediment transport in the swash zone of natural beaches: a review. *Journal of Coastal Research*, 16, 255–268.

Camilloni, I. 2009. *Primer Informe "Escenarios de Inundaciones"*. Reporte de Argentina al proyecto Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en Sudamérica (ERECC_SA, CEPAL).

Camilloni, I., V. Barros. 2000. The Paraná River response to the 1982-83 and 1997-98 ENSO events. *Journal of Hydrometeorology*, 1: 412-430.

Camilloni, I., V. Barros. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. *Journal of Hydrology*, 278: 94-106.

Capra, F. 1982. *El punto crucial: Ciencia, sociedad y cultura naciente*. Editorial Troquel S.A., Buenos Aires, 514 p.

Carranza, A., F. Scarabino, L. Ortega. 2008. Distribution of Large Benthic Gastropods in the Uruguayan Continental Shelf and Río de la Plata Estuary. *Journal of Coastal Research*, 24(1): 161-168.

Casciani, M., M. Musso. 1995. *Caracterización sedimentológica y geomorfológica de la playa de Kiyú*. Departamento de San José, Uruguay. Trabajo monográfico del curso de Geomorfología, Facultad de Ciencias. 33 p.

Castiñeira, C., D. Panario, R. Bracco Boksar, O. Gutiérrez. Concheros en la costa atlántica uruguaya y su vinculación con la dinámica litoral. *In Actas del XIV Congreso Nacional de Arqueología Argentina (2001)*. (Aceptado por Comité Científico a comienzo de 2005, *In press*)

Crosara, A., G. Acosta, N. García, J. Hernández, C. Calandre, M. Bergstein, F. Fabiano, M. Calosso (Equipo Redactor). 1989. *Plan de Ordenación turística de la costa oceánica*. Instituto de Cooperación Iberoamericana de España - Ministerio de Turismo Uruguay. 213 p.

Crowell, M., S.P. Leatherman, M.K. Buckley. 1991. Historical shoreline change; Error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7: 839-852.

Crowell, M., S.P. Leatherman, M.K. Buckley. 1993. Shoreline change rate analysis: Long-term versus shortterm. *Shore and Beach*, 61(2): 13-20.

Crowell, M., S.P. Leatherman. (Eds.). 1999. Coastal erosion mapping and management. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 28: 196 pp.

Davies, J.H.L. 1964, A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 8: 127-142.

De Alava, D. (Coord.). 1994. *Estudios para la Propuesta de un Manejo Integrado de la Zona Costera del Departamento de Rocha*. Montevideo, UNCIEP, Facultad de Ciencias. 72 p, 2 anexos, 10 láminas

De Álava, D., D. Panario. 1996. La Costa Atlántica: ecosistemas perdidos y el nacimiento de un monte de pinos y acacias. *En: Almanaque Banco de Seguros del Estado*. Montevideo. 44-51 pp.

- Dean, R.G. 1982. *Models for beach profile response*. Technical Report Nº 30. University of Delaware, Newark.
- De Lillis, M., L. Costanzo, P.M. Bianco, A. Tinelli. 2004. Sustainability of sand dune restoration along the coast of the tyrrhenian sea. *Journal of Coastal Conservation*, 10(1): 93-100.
- Defeo, O., E. Ortiz, J.C. Castilla. 1992. Grow, mortality and recruitment of the yellow clam *Mesodesma macrtoides* in Uruguayan beaches. *Marine Biology*, 114: 429-437.
- Defeo, O., A. Brazeiro. 1994. Distribución, estructura poblacional y relaciones biométricas de la vieira *Zygochlamys patagonica* en aguas Uruguayas. *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 66-67(7): 362-367.
- Defeo, O., D. Lercari, A. De Álava, J. Gómez, G. Martínez, E. Celentano, J.P. Lozoya, S. Sauco, D. Carrizo, E. Delgado. 2006. Ecología de playas arenosas de la costa uruguaya: una revisión de 25 años de investigación. En: Menafra, R., L. Rodríguez, F. Scarabino, D. Conde. (Eds.): *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. Vida Silvestre Uruguay, Montevideo, 363-370 pp.
- Díez, J.J. 2000. A review of some concepts involved in the sea-level rise problem. *Journal of Coastal Research*, 16, 1179–1184.
- Domínguez, F., J. Gracia, G. Anfuso. 2004. Tasas de avance/retroceso de la línea de costa mediante morfometría fotogramétrica en el sector Sanlúcar de Barrameda – Rota (Provincia de Cádiz). *Revista de la Sociedad Geológica, España*, 17(1-2): 71-86.
- Etcheverry, N. 2007. El verano y las playas de Montevideo. (19.12.2007) Disponible on line en: http://nw.espectador.com/1v4_contenido.php?id=111638&sts=1 (consultado el 2/12/2009)
- Elfrink, B., T. Baldock. 2002. Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives. *Coastal Engineering*, 45: 149–167.
- Ferrari, G., S. Méndez, A. Brazeiro. 2000. *Dinophysis acuminata* associated to diarrhetic shellfish poisoning reports in Uruguay. Publicación de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, 18: 91-95.
- Forbes, E. 2002. Variabilidad del Nivel Medio del Mar en Montevideo (1902-2000). En: Proceeding of AIACC Río de la Plata regional Workshop, (Montevideo, 25-29 de setiembre de 2002).
- Fryberger, S.G., A.M. Al-Sari, T.J. Clisham, S.A.R. Rizvi, K.G. Al-Hinai. 1984. Wind sedimentation in the Jafurah sand sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*, 31: 413-431.
- Galzerano, J., G. Piñeiro, E. Ramos, D. Panario. 1993. *Dinámica de las playas: Costa Azul, Bello Horizonte y Guazuvíra. Propuesta de manejo*. Montevideo, UNCIEP. Facultad de Ciencias. Informe realizado a solicitud de la Comisión de Fomento del Balneario de Costa Azul. 22 p. y anexos.

García, V. 1908. Proyecto de saneamiento de la Cuenca de los Pocitos. *Revista de la Asociación de Ingenieros y Arquitectos del Uruguay*, vol. 10.

García Moyano, G. 1979. *Pueblo de los Pocitos*. (2da. ed.) Montevideo, Ediciones de la Banda Oriental, 100 p.

Gelfenbaum, G., C.R. Sherwood, C.D. Peterson, G.M. Kaminsky, M. Buijsman, D.C. Twichell, P. Ruggiero, A.E. Gibbs, C. Reed. 1999. The Columbia River Littoral Cell: A Sediment Budget Overview. *En*: Kraus, N.C., W.G. McDougal. (Ed.), *Coastal Sediments* (Proceedings of the 4th International Symposium on Coasting Engineering and Science of Coastal Sediment Processes held in Hauppauge, New York), 1660-1675 pp.

Giménez, J.L., B. Yannicelli. 2000. Longshore patterns of distribution of macroinfauna on a uruguayan sandy beach: an analysis at different spatial salesand of their potential causes. *Marine Ecology y Progress Series*, vol. 1999: 111-125.

Gómez Pivel, M.A. 2001. *A costa atlântica uruguaia como um sistema geomorfológico*. Tesis, Maestría en Oceanografía Física, Química y Biológica, Universidad Federal do Rio Grande, Brasil.

Gonzálvez, V., F. Pesce, F. Quintans, A. Rodríguez, S. Zerbino. 2003. *Diagnóstico Ambiental Parque Lacustre Garzón*. Departamento de Rocha. Curso Diagnóstico Ambiental, Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay, 60 p., anexos y cartografía.

Gutiérrez, O., D. Panario. 2005. Dinámica geomorfológica de la desembocadura del Arroyo Pando, Uruguay. Geografía histórica y SIG, análisis de tendencias naturales y efectos antrópicos sobre sistemas dinámicos. *Xeográfica. Revista de Xeografía, Territorio e Medio Ambiente*, 5: 107-126.

Gutiérrez, O., D. Panario. 2006. Evolución de la desembocadura del Arroyo Pando (Canelones, Uruguay): ¿tendencias naturales o efectos antrópicos *En*: Menafrá, R., L. Rodríguez, F. Scarabino, D. Conde. (Eds.). *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. Vida Silvestre Uruguay, Montevideo, 391-400 pp.

Herzig, M. 1993. *Informe preparado a partir de la Misión Técnica de Ramsar, enmarcada dentro de las acciones de seguimiento a la aplicación del Procedimiento de Monitoreo al Sitio Ramsar "Bañados del Este y Franja Costera", Uruguay*. Responsable en Jefe de la Misión Técnica, Dr. Hiraldo Cano, F. Gland, Suiza.

Hesp, P.A. 2002. Foredunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245–268.

Hesp, P.A., M.J. Shepherd, K. Parnell. 1999. Coastal geomorphology in New Zealand, 1989–99. *Progress in Physical Geography*, 23: 501–524.

Hinton, A.C. 1997. Tidal changes. *Progress in Physical Geography*, 21: 425–433.

Hinton, A.C. 1998. Tidal changes. *Progress in Physical Geography*, 22: 282–294.

Hooke, J.M. 1999. Decades of change: contributions of geomorphology to fluvial and coastal engineering and management. *Geomorphology*, 31:373-389.

Horn, D.P. 1997. Beach research in the 1990s. *Progress in Physical Geography*, 21: 454-470.

Horn, D.P. 1999. Synergy and co-operation: collaborative. *Physical Geography*, 23: 115-133.

Horn, D.P. 2002. Mesoscale beach processes. *Progress in Physical Geography*, 26: 271-289.

IMFIA. 1998. *Estudio de las obras de navegación en el Arroyo Cufre y sus impactos sobre la zona costera. Informe final*. Convenio Dirección Nacional de Hidrografía y Facultad de Ingeniería. Montevideo, abril. 59 p.

IMM (2005) Rambla Sur; La mayor obra del país. *Montevideo en la mano*. Octubre, 2. Disponible on-line en: <http://www.montevideo.gub.uy/montevideoenlamano/02/ramblasur.pdf>. (consultado el 6/8/2008).

Inman, D.L., P.M. Masters. 1991. *Budget of sediment and prediction of the future state of the coast: State of the Coast Report, San Diego Region, Coast of California Storm and Tidal Waves Study*. U.S. Army Corps of Engineers, Los Angeles District, Ch 9, 105 pp. Disponible on-line en: <http://repositories.cdlib.org/sio/cmg/10/>

Jackson, N.L., K.F. Nordstrom, I. Eliot, G. Masselink. 2002. 'Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, 48: 147-162.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, D. Joseph. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3): 437-470.

Kench, P.S. 1999. The geomorphology of Australian estuaries: review and prospects. *Australian Journal of Ecology*, 24: 367-38.

Kennedy, D.M., C.D. Woodroffe. 2000. Holocene lagoonal sedimentation at the latitudinal limits of reef growth, Lord Howe Island, Tasman Sea. *Marine Geology*, 169: 287-304.

Legrand, C.D. 1959. Comunidades psamófilas de la región de Carrasco (Uruguay). *Anales del Museo de Historia Natural de Montevideo*, 2da. Serie, 7(7): 1-64 y láminas.

Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J. C. Giménez, A. R. Moreno, G. J. Nagy, C. Nobre, A. Villamizar. 2007. Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. En: Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson. (Eds.): *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 581-615.

- Mason, T., T.T. Coates. 2001. Sediment transport processes on mixed beaches: a review for shoreline management. *Journal of Coastal Research*, 17: 645–657.
- McBride, R., M.R. Byrnes, M.W. Hiland. 1995. Geomorphic response-type model for barrier coastlines: a regional perspective. *Marine Geology*, 126: 143-159.
- McGwynne, L., A. McLachlan. 1992. *Ecology and Management of Sandy Coasts*. Institute for Coastal Research, UPE, South Africa, Report, N° 30, 83 p.
- Menafrá, R., L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino, D. Conde (Eds). 2006. *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. Vida Silvestre Uruguay. Montevideo, i-xiv+668 pp.
- Menendez, A., M. Re. 2005. Escenarios de inundación. En: Barros, V., A. Menéndez, G. Nagy. (Eds): *El Cambio climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires, CIMA/CONICET, cap. VI, pp. 81-92.
- Menendez, A., E.H. Berbery. 2006. Tendencias hidrológicas en la Cuenca del Plata. En: Barros, V., R. Clarke, P. S. Días. (Eds): *El Cambio climático en la Cuenca del Plata*. Buenos Aires, CIMA/CONICET, cap. 14, pp. 137-143.
- Moore, L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16: 111-124.
- Moore, L., P. Ruggiero, J. List. 2006. Comparing mean high water and high water line shorelines: Should proxy-datum offsets be incorporated in shoreline change analysis?. *Journal of Coastal Research*, 22(4): 894-905.
- MTOP/PNUD/UNESCO. 1979. *Conservación y mejora de playas - URU. 73.007*. Montevideo. 593 p.
- Muñoz, D. 1883. *La Basura*. Montevideo, Agosto, 2 de 1883. Disponible on-line en: http://www.archivodeprensa.edu.uy/munoz_d/docs/articulos/Basura.htm (consultado el 6/11/2009)
- Murray, J.M.H., A. Meadows, P.S. Meadows. 2002. Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: a review. *Geomorphology*, 47: 15–30.
- Nagy G.J., A. Ponce, V. Pshennikov, R. Silva, E.A. Forbes, R. Kokot. 2005. Desarrollo de la Capacidad de Evaluación de la Vulnerabilidad Costera al Cambio Climático: Zona Oeste de Montevideo como Caso de Estudio. En: Barros, V., A. Menéndez, G. Nagy. (Eds): *El Cambio climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires, CIMA/CONICET, cap. 14, pp. 173-180.
- Nagy, G.J., M. Gómez-Erache, V. Fernández. 2007. El Aumento del Nivel del Mar en la costa uruguaya del Río de la Plata: Tendencias, vulnerabilidades y medidas para la adaptación. *Revista Medio Ambiente y Urbanización*, Cambio climático: Vulnerabilidad y Adaptación en ciudades de América Latina, 67: 77-93.

Nagy, G.J., D.N. Severov, V.A. Pshennikov, M. De los Santos, J.J. Lagomarsino, K. Sans, E.G. Morozov. 2008. Rio de la Plata Estuarine System: Relationship between River Flow and Frontal Variability. *Advances in Space Research*, 41: 1876-1881.

Norris, R.M. 1964. Dams and beach sand supply in Southern California. *Papers in Marine Geology*, R. L. Miller (Ed.), New York: Macmillan, cap. 9: 154-171.

O.E.A. 1987. *Proyecto plurinacional de desarrollo turístico; Desarrollo Turístico del Uruguay*. 158 p.

Orford, J., A. Cooper, B. Smith. 1997. LOICZ: the Human Factor as an Influence on the Irish Coast. En: Sweney, J. (Ed.): *Global Change and the Irish Environment*. Royal Irish Academy, cap. 9: 88-107 pp.

Panario, D. 1999. Dinámica de la costa atlántica uruguaya. En: *Seminario: Costa Atlántica. Estado actual del conocimiento y estrategia de investigación de la costa y sus barras lagunares (Rocha, marzo de 1997)*. Rocha, PROBIDES. 23-54 pp. (Serie Documentos de Trabajo N° 21)

Panario, D. 2000. Las playas uruguayas. Su dinámica, diagnóstico de situación actual y tendencias a mediano plazo. En: Domínguez, A., R. Prieto (Coord.): *Perfil ambiental del Uruguay - 2000*. Montevideo, Edinor, 111-125 pp.

Panario, D., G. Piñeiro. 1997. Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay. *Climatic Research Special Issues*, 9(1-2): 67-68.

Panario, D., O. Gutiérrez. 2003. *Dinámica geomorfológica de la desembocadura del Arroyo Pando. Origen de los impactos en las playas de El Pinar y Neptunia, y propuesta de mitigación*. UNCIEP, Facultad de Ciencias. 68 p.

Panario, D., O. Gutiérrez. 2005. La vegetación en la evolución de playas arenosas. El caso de la costa uruguaya. *Ecosistemas, Revista de la Asociación Española de Ecología Terrestre*. XIV N° 2, mayo - agosto. Disponible on-line en: www.revistaecosistemas.net.

Panario, D., O. Gutiérrez. 2006. Dinámica y fuentes de sedimentos de las playas uruguayas. En: Menafra, R., L. Rodríguez, F. Scarabino, D. Conde (Eds.): *Bases para la conservación y manejo de la costa Uruguaya*. Vida Silvestre Uruguay, Montevideo, 21-34 pp.

Panario, D., O. Gutiérrez, G. Piñeiro. 2008a. *Propuesta técnica para la conservación recuperación de la playa del Buceo y playas certificadas de Montevideo. Informe de Avances*. Convenio UNCIEP (Unidad de Ciencias de la Epigénesis), Facultad de Ciencias y Departamento de Desarrollo Ambiental, Intendencia Municipal de Montevideo. Enero, 56 pp. (Correspondiente al cuarto mes del convenio)

Panario, D., O. Gutiérrez, G. Piñeiro. 2008b. *Propuesta técnica para la conservación recuperación de la playa del Buceo y playas certificadas de Montevideo. Informe final*. Convenio UNCIEP (Unidad de Ciencias de la Epigénesis), Facultad de Ciencias y Departamento de Desarrollo Ambiental, Intendencia Municipal de Montevideo. Setiembre, 76 pp. y anexos.

Pasternack, G.B., G.S. Brush. 1998. Sedimentation Cycles in a River-Mouth Tidal Freshwater Marsh. *Estuaries*, 21(3): 407-415.

Piñeiro, G. 2010. *Transporte eólico de arena en playas urbanizadas: modelos-realidad*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Montevideo. 114 p.

Piñeiro, G., D. Panario. 1993. *Dinámica sedimentaria y geomorfológica de dunas y playas en Cabo Polonio, Rocha*. Montevideo, UNCIEP, Facultad de Ciencias, 35 p. y anexos.

Politis, G. 1984. Climatic variations during historical times in Eastern Buenos Aires Pampas, Argentina. *Quaternary of South America and Antartic Peninsula*, 2: 133-161.

Preciozzi, F., J. Spoturno, W. Heinzen, P. Rossi. 1985. *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1:500.000*. Montevideo, DINAMIGE, 72 p.

Riestra, G., O. Defeo, A. Brazeiro. 1996. Dinámica de la zonación de gasterópodos en una playa disipativa micromareal. *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 70-71(8): 1-6.

Ros, F.J. 1923. *Pleito - Pocitos. Su historia y el dictamen profesional que a pedido de los propietarios demandados produjo el Agrimensor D. Francisco J. Ros*. Editor M. García, Montevideo, Imprenta El Siglo Ilustrado, 253 p. (Colección Estudio)

Severov, D.N., E. Mordecki, V.A. Pshennikov. 2004. SST anomaly variability in South-western Atlantic and El Niño/Southern oscillation. *Advances in Space Research*, 33(3): 343-347.

Shand, R.D., D.G. Bailey. 1999. A review of net offshore bar migration with photographic illustrations from Wanganui, New Zealand. *Journal of Coastal Research*, 15: 365-378.

Sherman, D.J., B.O. Bauer. 1993. Coastal geomorphology through the looking glass. *Geomorphology*, 7: 225-249.

Short, D. (Ed.) 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. New York, Wiley, 379 p.

Soutullo, A., E.K.W Chan, J. Maughan, S. Preuss, J.C. Ruiz Guajardo. 2003. Distribution of endangered vertebrates in Bañados del Este Biosphere Reserve, Uruguay. *Comunicaciones Zoológicas, Museos Nacionales de Historia Natural y Antropología*, 201(XVIII): 1-12.

Spencer, T., H. Viles. 2002. Bioconstruction, bioerosion and disturbance on tropical coasts: coral reefs and rocky limestone shores. *Geomorphology*, 48: 23-50.

Stephenson, W.J. 2000. Shore platforms: remain a neglected coastal feature. *Progress in Physical Geography*, 24: 311-327.

Stephenson, W.J., R.W. Brander. 2003. Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, 27(4): 607-623.

Stephenson, W.J., R.W. Brander. 2004. Progress reports. Coastal geomorphology, *Progress in Physical Geography*, 28(4): 569–580.

Taylor, M., G.W. Stone. 1996. Beach-ridges: a review. *Journal of Coastal Research*, 12: 612–621.

Thurman H.V. 1994. *Introductory oceanography*. New York, Macmillan Publishing Co.

Trenhaile, A.S. 2002. Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, 48: 7–22.

Uncles, R.J. 2002. Estuarine physical processes research: some recent studies and progress. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 829–856.

Van Wellen, E., A.J. Chadwick, T. Mason. 2000. A review and assessment of longshore sediment transport equations for coarsegrained beaches. *Coastal Engineering*, 40: 243-275.

Vinther, N., T. Aagaard, J. Nielsen. 2004. Cyclic sand bar migration on a spit-platform in the Danish Wadden Sea—spit-platform morphology related to variations in water level *Journal of Coastal Research*, 20: 672-679.

Willis, C.M. 2002. Impediments to fluvial delivery of sediment to the shoreline. *En: Coyne, M., K. Sterrett (Eds.): California Beach Restoration Study*, California Department of Boating and Waterways and State Coastal Conservancy, Sacramento, California, p. 130-177. Available on-line at: <http://www.dbw.ca.gov/beachreport.asp>

ABREVIATURAS

Indicadores de Línea de Costa:

LMAP - línea de marea alta previa

LSH-ZAIO - línea seca/húmeda o zona actual de alcance de la ola

ALMA - antiguo límite de marea alta

Artefactos Playa Pocitos

L27 - *“límite continental: playa año 1927”*

L08 - *“límite continental: playa año 2008”*

Siglas instituciones:

CCG - Comisión de Cambio Global

DINAMA - Dirección de Medio Ambiente

FAU - Fuerza Aérea Uruguaya

IMC - Intendencia Municipal de Canelones

IMM - Intendencia Municipal de Montevideo

NCEP/NCAR - National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research

NMM - National Maritime Museum

SGM - Servicio Geográfico Militar

Índices

IG/PP - Índice de Ganancia/Pérdida de Playa

IDMSPA - Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior

ITBSP - Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa

ITBSP relativizado por tiempo - Índice Teórico de Balance de Superficie de Playa relativizado por la longitud temporal de la serie

Otras:

msnm - metros sobre el nivel medio del mar