

Convenio entre
Intendencia Municipal de Maldonado y la Facultad de Ingeniería
(UdelaR): “Estudios de Problemas Costeros”

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA COSTA DEL DEPARTAMENTO DE MALDONADO

INFORME FINAL

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental
(IMFIA)
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Personal Técnico del IMFIA:

Dr. Ing. Luis Teixeira
Ing. Guillermo López
Bach. Rodrigo Mosquera

Noviembre de 2008

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	8
	<i>Estudios previos</i>	8
	<i>Batimetría</i>	10
	<i>Topográfica</i>	10
	<i>Vientos</i>	11
	<i>Olas</i>	11
	<i>Niveles del mar</i>	11
	<i>Corrientes</i>	12
	<i>Sedimentología</i>	12
	<i>Fotografías aéreas y satelitales</i>	12
	<i>Visitas a sitio</i>	13
3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA COSTERA EN ESTUDIO	14
3.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE COSTA	14
3.2.	GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	15
	<i>Proterozoico (Precámbrico)</i>	17
	<i>Paleozoico</i>	19
	<i>Terciario</i>	19
	<i>Cuaternario</i>	20
3.3.	GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
	<i>Playas y cordones</i>	22
	<i>Dunas y médanos</i>	22
	<i>Barrancas sedimentarias</i>	23
	<i>Lagunas litorales</i>	24
3.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS CURSOS FLUVIALES Y DE LAS LAGUNAS LITORALES	25
4.	VARIABLES FÍSICAS MEDIOAMBIENTALES	27
4.1.	BATIMETRÍA Y RELEVAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO.....	27
4.2.	CLIMA MEDIO DE VIENTOS	28
	<i>Estación Punta del Este</i>	28
	<i>Estación Pontón Recalada</i>	31
4.3.	CLIMA MEDIO DE OLAS.....	33
	<i>Metodología</i>	33
	<i>Resultados</i>	34
4.4.	NIVELES DE MAR	43
4.5.	CORRIENTES.....	49
	<i>Información de base</i>	49
	<i>Análisis de registros</i>	50
	<i>Síntesis</i>	58
4.6.	INFORMACIÓN SEDIMENTOLÓGICA	59
5.	CARACTERIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA	62
5.1.	TRAMOS DE COSTA ANALIZADOS.....	62
5.2.	ESTUDIO DE LARGO PLAZO	63
	<i>Dirección de la resultante de la energía del oleaje incidente y orientación de la línea de costa</i>	63
	<i>Curva de equilibrio en planta</i>	64
	<i>Consideraciones geológicas</i>	73
5.3.	ESTUDIO DE MEDIANO PLAZO	75
5.4.	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS ARROYOS Y DE LAS BARRAS DE LAS LAGUNAS COSTERAS	84
	<i>Arroyo Solís Grande</i>	84
	<i>Arroyo del Potrero</i>	85
	<i>Arroyo Maldonado</i>	86
	<i>Laguna José Ignacio</i>	86
	<i>Laguna Garzón</i>	87
6.	CONSIDERACIONES FINALES	89

6.1.	SITUACIÓN GENERAL DE LA COSTA	89
6.2.	ZONAS VULNERABLES	90
6.3.	MONITOREO	91
6.4.	CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	92
7.	BIBLIOGRAFÍA	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Cuadro de distribución de cartas del SGM	10
Figura 2.- Ubicación de las estaciones de nivel del mar de la DNH	12
Figura 3.- Costa del departamento de Maldonado.....	15
Figura 4.- Referencias de la carta geología. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	15
Figura 5.- Geología superficial de la zona oeste. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	16
Figura 6.- Geología superficial de la zona este. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	16
Figura 7.- Corte geológico de la zona oeste. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	17
Figura 8.- Corte geológico de la zona centro. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	17
Figura 9.- Corte geológico de la zona este. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) “Conservación y Mejora de Playas”	17
Figura 10.- Playa y cordón de dunas de un tramo en curva. . Tramo Punta Imán – Punta Colorada.	22
Figura 11.- Playa y cordón de dunas de un tramo recto. Tramo arroyo Maldonado - Punta José Ignacio.	22
Figura 12.- Vista de duna viva presente en el tramo arroyo Maldonado – Punta José Ignacio.	23
Figura 13.- Vista de las barrancas presentes en Balneario Solís	24
Figura 14.- Vista en la zona de la desembocadura de la Laguna José Ignacio	25
Figura 15.- Vista en la zona de la desembocadura de la Laguna Garzón.....	25
Figura 16.- Principales cuencas fluviales en el departamento de Maldonado.....	26
Figura 17.- Relevamiento topográfico en la zona de tierra (playa y barranca)	27
Figura 18.- Rosa de viento para umbrales de velocidad (Estación Punta del Este).....	29
Figura 19.- Velocidad del viento (km/h) y período de retorno (Estación Punta del Este)	30
Figura 20.- Rosas de viento por estación del año (Estación Pontón de Recalada)	32
Figura 21.- Rosa de viento (Estación Pontón de Recalada)	32
Figura 22.- Ubicación de las boyas virtuales	33
Figura 23.- Distribución por altura de ola para cada una de las boyas.....	38
Figura 24.- Distribución de las olas por dirección para cada una de las boyas.....	39
Figura 25.- Distribución del clima de oleaje por periodo pico para cada una de las boyas.....	40
Figura 26.- Dirección del flujo medio anual de energía dado por el clima de olas	42
Figura 27.- Estaciones hidrométricas de la DNH	43
Figura 28.- Ubicación de los puntos de medición de corrientes	49
Figura 29.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Salina 1	51
Figura 30.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Salina 1	51
Figura 31.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Salina 2	53
Figura 32.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Salina 2	53
Figura 33.- Diagrama de distribución de los datos de corrientes de fondo registrados en Punta Salina 2.....	55
Figura 34.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente de fondo registrada en el punto de medición Punta Salina 2.....	56
Figura 35.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Chileno.....	57
Figura 36.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Chileno	57
Figura 37.- Ubicación de los puntos en que se tomaron muestras de material de fondo y de la playa en el tramo Solís	60
Figura 38.- Principales características granulométricas de las playas consideradas.....	60

Figura 39.- Subsistemas considerados en los análisis de distinta escala temporal	62
Figura 40.- Dirección del flujo medio anual de energía dado por el clima de olas	64
Figura 41.- Parábola de equilibrio del tramo 1 (Solís).....	66
Figura 42.- Parábola de equilibrio del tramo 2 (Playa Bella Vista – Playa Hermosa).....	67
Figura 43.- Parábola de equilibrio del tramo 3 (Piriápolis). Se muestra la dirección de la resultante de energía del oleaje y la curva de equilibrio estático teniendo en cuenta como punto de control el puerto de Piriápolis y la punta Imán.	68
Figura 44.- Parábola de equilibrio del tramo 4 (Punta Imán – Punta Negra). Se muestra la dirección de la resultante de energía del oleaje y la curva de equilibrio estático teniendo en cuenta los puntos de control considerados.	69
Figura 45.- Erosión de la barranca y la playa que evidencia el retroceso de la línea de costa en el extremo este del arco entre punta Imán y punta Colorada.	70
Figura 46.- Parábola de equilibrio del tramo 5 (Punta Negra – Punta Ballena).....	70
Figura 47.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la isla Gorriti. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.	71
Figura 48.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la punta del Este. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.	72
Figura 49.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la punta del Chileno. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.	72
Figura 50.- Parábola de equilibrio del tramo 7 (Punta del Este – Laguna José Ignacio).....	73
Figura 51.- Fluctuación del nivel del mar y dataciones de muestras de moluscos con C14.	75
Figura 52.- Superposición de fotos aéreas para el análisis de evolución de la línea de costa en todo el departamento de Maldonado.....	76
Figura 53.- Evolución de la línea de costa en el tramo 1 (Solís). Año 1980 (verde). Año 2007 (rojo y foto).....	77
Figura 54.- Evolución de la línea de costa en el tramo 2 (Playa Bella Vista – Playa Hermosa). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (foto y verde).	78
Figura 55.- Evolución de la línea de costa en el tramo 3 (Piriápolis). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)	79
Figura 56.- Evolución de la línea de costa en el tramo 4 (Punta Imán – Punta Negra). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)	80
Figura 57.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)	81
Figura 58.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)	82
Figura 59.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)	83
Figura 60.- Características de la desembocadura del arroyo Solís Grande: 1966 (Izquierda), 1980 (Centro) y 2007 (Derecha).....	84
Figura 61.- Características de la desembocadura del arroyo del Potrero: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).	85
Figura 62.- Características de la desembocadura del arroyo Maldonado: 1966 (Izquierda), 1980 (Centro) y 2007 (Derecha).....	86
Figura 63.- Características de la desembocadura de la laguna José Ignacio: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).	87
Figura 64.- Características de la desembocadura de la laguna Garzón: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Estaciones de medición de marea. En José Ignacio faltan los años 1995 y 1996.....	12
Tabla 2.- Características de las principales cuencas del departamento de Maldonado.....	26
Tabla 3.- Frecuencia de ocurrencia en porcentaje (Estación Punta del Este).....	28
Tabla 4.- Frecuencia de ocurrencia según umbrales (Estación Punta del Este).....	29
Tabla 5.- Parámetros de las distribuciones de probabilidad (Estación Punta del Este)	30
Tabla 6.- Frecuencia de ocurrencia en porcentaje (Estación Pontón de Recalada)	31

Tabla 7.- Frecuencia de ocurrencia de la altura de ola en cada una de las boyas virtuales.....	36
Tabla 8.- Frecuencia de ocurrencia del periodo pico para las distintas boyas virtuales.....	37
Tabla 9.- Dirección de la resultante de energía del oleaje.....	42
Tabla 10. Estaciones de medición de marea	43
Tabla 11. Niveles de marea, respecto al 0 Oficial, en los puertos de Pirlápolis y Punta del Este	45
Tabla 12.- Datos de niveles máximos anuales de marea. Estos niveles están medidos respecto al cero de escala de su respectiva estación.....	46
Tabla 13.- Parámetros de ajuste a GEV	48
Tabla 14.- Error cuadrático mínimo.....	48
Tabla 15.- Niveles medios, máximos y mínimos del Intervalo de confianza de 95% obtenidos con la función Log-Normal de mejor ajuste.....	48
Tabla 16.- Características de las series de registros de corriente analizadas	50
Tabla 17.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en el punto de medición Punta Salina 1.	52
Tabla 18.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en el punto de medición Punta Salina 2	54
Tabla 19.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en Punta Salina 2 fondo.....	56
Tabla 20.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, astronómica y residual en el punto de medición Punta Chileno.....	58
Tabla 21.- Características sedimentológicas de las distintas playas consideradas	59
Tabla 22.- Índice de Trask (1950)	59
Tabla 23.- Características sedimentológicas de las muestras realizadas	60
Tabla 24.- Subsistemas considerados en los análisis de distinta escala temporal	63

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe es el resultado de uno de los estudios desarrollados en la Actividad Específica "Estudios de Problemas Costeros" que se desarrolla en el marco del Convenio firmado entre la Universidad de la República y la Intendencia Municipal de Maldonado (IMM).

El objeto del estudio fue presentar la caracterización de la costa del departamento de Maldonado, de manera de brindar elementos para una gestión sustentable de la zona costera. Esta caracterización se basa en el análisis de las variables físicas que intervienen en los procesos costeros, la descripción de las características geomorfológicas de este tramo de costa y el análisis de la estabilidad de los distintos subsistemas tanto a mediano como a largo plazo. Este análisis se realiza en base a la recopilación de información antecedente y la generación de información complementaria.

En el Capítulo 2 se presentan los antecedentes encontrados en cuanto a la caracterización de la costa del departamento de Maldonado, ya sean estudios previos o información de base: batimétrica, topográfica, climatológica, hidrométrica, etc..

En el Capítulo 3 se describen las características generales de la zona costera en estudio. Luego de la descripción general del tramo se presenta la descripción geológica y la geomorfología de la zona. Finalmente se indican las características de los principales cursos fluviales y lagunas litorales presentes en el sistema.

La sistematización y la presentación de las variables físicas medioambientales se realizan en el Capítulo 4. Aquí se muestran los análisis y resultados de la información topográfica y batimétrica, del clima de vientos, del clima medio de olas, de los niveles de mar, de las corrientes y de la información sedimentológica.

La caracterización de la evolución de la costa de Maldonado se incluye en el Capítulo 5. Este Capítulo comprende el estudio de la evolución en distintas escalas temporales: mediano y largo plazo de los distintos tramos de costa y de las desembocaduras de arroyos y lagunas litorales.

El Capítulo 6 contiene el diagnóstico de la zona costera, presentando la situación general de la costa, la enumeración y descripción de las zonas vulnerables. Complementariamente se realizan algunas consideraciones sobre las características de la costa del departamento de Maldonado y su adaptabilidad al cambio climático.

2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información recopilada comprende los siguientes aspectos:

- Estudios previos
- Batimetría
- Vientos
- Olas
- Niveles del mar
- Corrientes
- Sedimentología
- Fotografías históricas

Estudios previos

En este capítulo se presenta una serie de trabajos referidos a la costa de Maldonado, con el objetivo de ordenar parte de la información existente en cuanto a la costa del departamento de Maldonado.

La lista de trabajos es la siguiente:

- 1978. "Conservación y Mejora de Playas – URU. 73.007" Elaborado por PNUD-UNESCO. MTOP.
- "Situación de la playa del balneario Solís". Informe elaborado por Panario D. y Gutiérrez, O. 27 de Setiembre 2005.
- 1993. Carta a la DNH de la Comisión de Fomento del Balneario Solís
- 1993. "Estudio de defensa de costas en la desembocadura del arroyo Solís Grande", elaborado por la DNH (Br. Laura Quirós)
- 1994. Informe y consideraciones de la DNH (División Obras y Mantenimiento Portuario) sobre los problemas descriptos por los vecinos del balneario Solís (Ing. Masoller)
- 1994. PEC 11. Plan de Saneamiento Ambiental del Departamento de Maldonado. OSE. IMM. CSI Ingenieros. Informe Final.
- 1995. Prosigue el expediente de la DNH sobre el informe del Ing. Masoller
- 1996. Informe de la Comisión de Medio Ambiente (CMA) del balneario Solís
- 1997. "El Río de la Plata; Una Revisión Ambiental"
- 1998. "Evaluación de los Sistemas de Observación Ambiental en la Zona Costera del Río de la Plata"
- 1998. Luis Teixeira, Juan Montana , Miguel Losada. "Litoral Processes in a Prograding COSAT: the Case Study of the Atlantic Ocean COSAT of Uruguay". ICCE
- 1999. "Diagnóstico Ambiental y Socio - Demográfico de la Zona Costera Uruguaya y del Río de la Plata" – Recopilación de Informes Técnicos.
- 2000. Jorge López Laborde, Ana Perdomo, Mónica Gómez Erache – EcoPlata. "Diagnóstico Ambiental y Socio - Demográfico de la Zona

Costera Uruguay y del Río de la Plata" – Compendio de los Principales Resultados

- 2002: "Gestión costera en Maldonado" Dr. Milton Jackson
- 2002: "Proyecto de prueba de abatimiento de la napa freática en la playa del balneario Solanas - Maldonado" Dr. Milton Jackson
- 2004. "Erosión en las costas del Río de la Plata y su frente marítimo", Silvana Giordano y Carlos Lasta.
- 2004. Respuesta del geógrafo Milton Jackson a la consulta del Arq. Gorgoroso (Director de Urbanismo)
- 2004. "Estudio Sinóptico – Gestión Costera en Uruguay: Estado Actual y Perspectivas", Enrique Gallicchio
- 2004. "Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Habitats" – Prospección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo
- 2004. "Sedimentos Superficiales de Fondo" – "Campaña de prospección ambiental del Río de la Plata y su frente marítimo", SOHMA
- 2005. Declaración de instituciones participantes en el evento promovido por la Colonia de Vacaciones del SMU – Balneario Solís
- 2005. "Caracterización y diagnóstico del litoral costero sobre el Río de la Plata y el Océano Atlántico (Nueva Palmira a Chuy)"
- 2005. Informe rampa de bajada de lanchas – Rambla Solís (Arq. Bardier)
- 2005. "Situación de la Playa del Balneario Solís", Ing. Agr. Daniel Panario y Lic. Ofelia Gutiérrez
- 2006. "Dinámica y fuentes de sedimentos de las playas uruguayas", Ing. Agr. Daniel Panario y Lic. Ofelia Gutiérrez
- 2006. "Informe de la visita a la costa del departamento de Maldonado con motivo de la tormenta del 23 de agosto de 2005", Dr. Ing. Luis Texeira, Ing. Mónica Fossati (Instituto de Mecánica de los Fluidos - UdelaR)¹
- 2006. "La restauración costera", Dr. Milton Jackson (Geógrafo)
- 2006, "Resumen Ejecutivo del Proyecto de Impacto Ambiental de una Cantera Piloto de Arena"
- 2007. "Informe sobre las Costas de Maldonado", Encuentro organizado por la Institución Costas (Informe de Arq. Dardo Bardier)
- 2007. "Diálogo de las Intendencias sobre Gestión Integrada de la Zona Costera Uruguaya"
- 2007. "Zona Costera Uruguay: Percepción de los asuntos prioritarios"
- 2007. "Estudios técnicos marítimos para evaluar la alternativa de descarga en Punta del Este". Informe elaborado en el marco del convenio Facultad de Ingeniería - Tahal Consulting Engineers.
- 2007. "Afectaciones sobre la costa del puerto proyectado en Punta del Chileno". Informe elaborado por el IMFIA en el marco del convenio Facultad de Ingeniería – Intendencia Municipal de Maldonado
- 2008. "Estudio del arroyo Maldonado orientado a definir la política de manejo integrado de su curso y planicie de inundación" Informe elaborado por el IMFIA en el marco del convenio Facultad de Ingeniería – Intendencia Municipal de Maldonado
- 2008. "Estudio de la zona costera del balneario Solís". Informe elaborado por el IMFIA en el marco del convenio Facultad de Ingeniería – Intendencia Municipal de Maldonado

- Documento del geógrafo Milton Jackson sobre la evaluación del proceso de erosión preexistente
- Datos e informes de Jaureguiberry (Canelones)
- "Gestión Integrada de Zonas Costera: ¿Qué nos enseña la experiencia?", Dr. Stephen B. Olsen.
- "Restauración y acondicionamiento del Tío Tom"
- "La restauración costera 2 (Recuperación de las grutas)"
- "Proyecto de recuperación de la playa "La Cigale", en el marco del replanteo de la rambla costanera y de los accesos a la península de Punta del Este"

Batimetría

Se efectuó la recopilación de toda la información batimétrica disponible, en particular:

- Cartas batimétricas del Servicio de Oceanografía Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) N° 1, 5, 20 y 31

Topográfica

Fueron utilizadas las cartas E26, E27, E28, E29, F26, F27, F28, F29, F30, G26, G27, G28, G29, H26, H27, H28 y H29 del Servicio Geográfico Militar (SGM). La zona comprendida por las cartas mencionadas se indica en la Figura 1 y se corresponde con la zona costera del departamento de Maldonado.

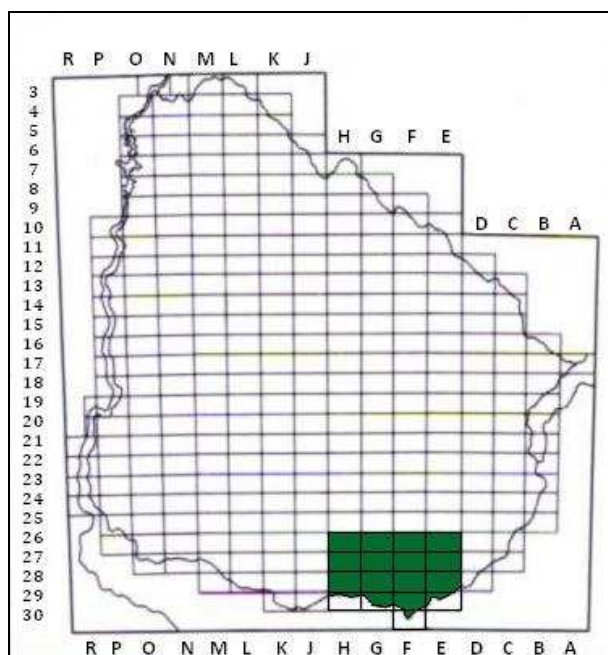


Figura 1.- Cuadro de distribución de cartas del SGM

Vientos

La información de vientos utilizada se corresponde con registros de las estaciones de Punta del Este y Pontón Recalada.

La estación Pontón Recalada está ubicada en el Río de la Plata aproximadamente a 30 km al Sur-Este de Montevideo. Esta estación registra entre otros parámetros, la dirección y módulo del viento. La información de vientos de esta estación son registros tri-horarios del periodo 1997 – 2001.

La estación de Punta del Este esta ubicada en el aeropuerto de dicha ciudad. Posee un anemómetro instalado desde 1940 por la Dirección Nacional de Meteorología (DNM). Si bien su ubicación no es la óptima, puede considerarse como aceptable para vientos de intensidad media o fuerte. Aunque es frecuente la ausencia de direcciones y la falta de datos entre las 21 y las 6hrs, la información disponible es aceptable para un estudio general.

En el trabajo realizado por el IMFIA "*Análisis de vientos de la Estaciones de Carrasco, Colonia y Punta del Este*", se trabajó con los datos de velocidad y dirección de vientos horarios del período 1979-1984.

Olas

Para la caracterización de esta variable no existe una estación de medición cercana a la zona de interés. La información existente de oleaje es escasa y las fuentes de la misma son variadas, tanto en cantidad de datos como en lo que respecta al lugar y las características de la medición.

Se recopiló información de oleaje registrado en el Río de la Plata, proveniente de mediciones directas por boyas realizadas por Hidrovía. En particular se trabajó con datos disponibles por la Comisión Administradora del Río de la Plata, de carácter público, que incluyen los espectros direccionales de oleaje medidos durante años en el límite exterior del Río de la Plata.

Niveles del mar

La caracterización del nivel del mar de la costa del departamento de Maldonado se realizó a partir de datos de seis estaciones de la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH). La ubicación de las estaciones se indica en la Figura 2. Cuatro de ellas se encuentran en la costa del Río de la Plata y las dos restantes en el Océano Atlántico.



Figura 2.- Ubicación de las estaciones de nivel del mar de la DNH

La Tabla 1 muestra el período de datos de niveles máximos anuales que fueron provistos por el Departamento de Hidrología de la DNH.

Cuenca del Río de la Plata	Período
199.0 Peaje Solís	1996-2007
198.0 La Floresta	1996-2007
113.0 Piriápolis	1971-2007
83.0 Punta del Este	1971-2007
Cuenca del Océano Atlántico	Período
69.0 José Ignacio (R-10)	1983-1997
67.1 Laguna Garzón	1982-2005

Tabla 1.- Estaciones de medición de marea. En José Ignacio faltan los años 1995 y 1996

Corrientes

El análisis de información de la información de base de registros de corrientes se hace sobre la base del informe IMFIA (2007): "Estudios técnicos marítimos para evaluar la alternativa de descarga en Punta del Este".

La información de base proviene principalmente de las campañas de medición realizadas en el marco del Estudio PEC, cuyos resultados fueron presentados en el informe PEC 11 realizado en el año 1995, aunque también se adquirieron datos durante el desarrollo del estudio del IMFIA antes citado.

Sedimentología

Se contó con la información granulométrica contenida en el informe "Conservación y Mejora de Playas – URU. 73.007".

Fotografías aéreas y satelitales

Se recopilaron fotos aéreas en distintas fechas y en distintos tramos de costa. Se logró generar, al menos en tres periodos de tiempo, la totalidad de la costa del departamento de Maldonado.

Se adquirieron en el Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea Uruguaya las fotos aéreas correspondientes a las campañas de los siguientes años: 1980, 1995, 2001 y 2004. A su vez del Servicio Geográfico Militar se obtuvieron las fotos aéreas correspondientes a las campañas de los años 1942 y 1966.

Visitas a sitio

Se realizaron varias visitas al sitio en distintas condiciones de las variables físicas reinantes: viento, oleaje y marea. En estas ocasiones se realizaron registros fotográficos.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA COSTERA EN ESTUDIO

En este capítulo se presentan las características principales del tramo de costa en estudio. En primer lugar se presenta una descripción general del tramo costero; luego la caracterización geológica y geomorfológica de la zona de estudio; y finalmente las características de las cuencas fluviales ya sean de arroyos o de lagunas litorales.

3.1. Descripción general del tramo de costa

El departamento de Maldonado tiene un litoral costero de aproximadamente 120 kilómetros sobre el Río de la Plata y el océano Atlántico. El tramo de costa sobre el Río de la Plata se extiende entre el arroyo Solís Grande en el límite oeste del departamento con Canelones y Punta del Este, alcanzando una longitud de 70 kilómetros aproximadamente. La costa atlántica tiene una longitud de 50 kilómetros aproximadamente y se desarrolla entre Punta del Este y la laguna Garzón, límite departamental con Rocha.

En rasgos generales este tramo de costa es una sucesión de playas separadas por salientes rocosas o desembocaduras de arroyos o lagunas costeras.

Entre estos accidentes se destacan desde el oeste hacia Punta del Este: arroyo Solís Grande, punta de las Ánimas, punta de los Burros, punta Imán, punta Negra, punta Rasa, arroyo del Potrero, punta Ballena, punta del Este. Desde Punta del Este hacia el este se encuentran: arroyo Maldonado, laguna José Ignacio, punta José Ignacio y laguna Garzón. Las características morfológicas de estos tramos de costa están determinadas por la propia presencia de éstos accidentes naturales.

La totalidad de la costa del departamento de Maldonado es la fuente de su principal actividad económica: el turismo. Por esto, es que en general en todo el tramo existe una fuerte presión inmobiliaria que busca un avance y ocupación de la faja costera. En particular esa presión se ha cristalizado en algunos puntos con importantes desarrollos urbanos, como Piriápolis y Punta del Este.

Los principales balnearios, puntas rocosas y cuerpos de agua del tramo de costa del departamento de Maldonado se indican en la Figura 3.



Figura 3.- Costa del departamento de Maldonado

3.2. Geología de la zona de estudio

Geológicamente el área de estudio corresponde a una depresión del Zócalo del Este y del Zócalo del Río de la Plata. En ese basamento se detectan intrusiones de la formación Sierra de las Ánimas en el tramo Oeste de la costa de Maldonado. Esta depresión ha sido rellenada por depósitos continentales (Formación Fray Bentos y Malvín) y marinos (Formación Camacho) recubiertos por materiales sedimentarios más modernos (Formación Raigón) con presencia, en la parte superior, de materiales correspondientes a la Formación Libertad, Chuy y Reciente y Actual (médanos, aluviones y playas).

La caracterización de la principales unidades geológicas presentes en el tramo de costa de estudio se describen según la "Carta Geológica del Uruguay, a escala 1/500.000" (Preciozzi et al., 1985). La geología superficial se presenta en la Figura 5 y la Figura 6. Los cortes geológicos se indican en la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9. La descripción aquí presentada es extraída del Informe PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas".

CENOZOICO	HOLOCENO	PLAYAS MODERNAS	PI			
		ALUVIONES, COLUVIONES	Al, Co			
		MEDANOS	Me			
		PLAYAS ANTIGUAS	PI			
		CORDONES LITORALES	CL			
		ARCILLAS GRISAS	AG			
		LIBERTAD	LI			
		CENOZOICO	PLEISTOCENO	CHUY	Ch	
				VIZCAINO	VI	
				MALVIN	Ma	
Raigón	Ra					
MARTIN CHICO	MC					
CENOZOICO	PLIO-PLEISTOCENO			CAMACHO	Ca	
				FRAY BENTOS	FB	
PALEOZOICO	OLIGO MIOCENO			SIERRA DE ANIMAS	SA	
				PIEDRAS DE AFILAR	PA	
				PROTEROZOICO	CAMBRO PROTEROZOICO	ZOCALO DEL ESTE	ZE
ZOCALO DE LA CUENCA DEL RIO DE LA PLATA	ZC					

Figura 4.- Referencias de la carta geológica. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

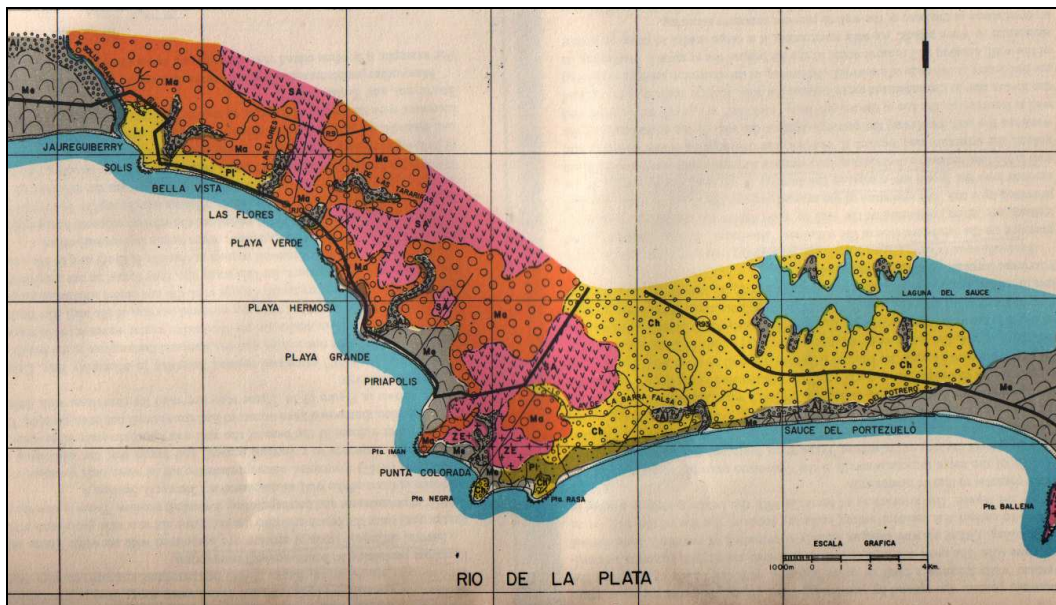


Figura 5.- Geología superficial de la zona oeste. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

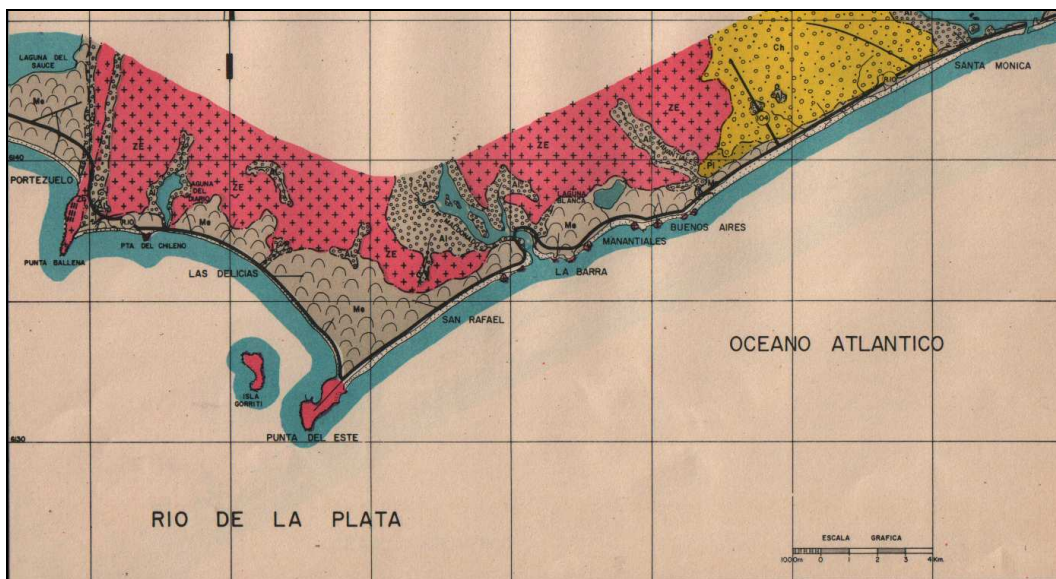


Figura 6.- Geología superficial de la zona este. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

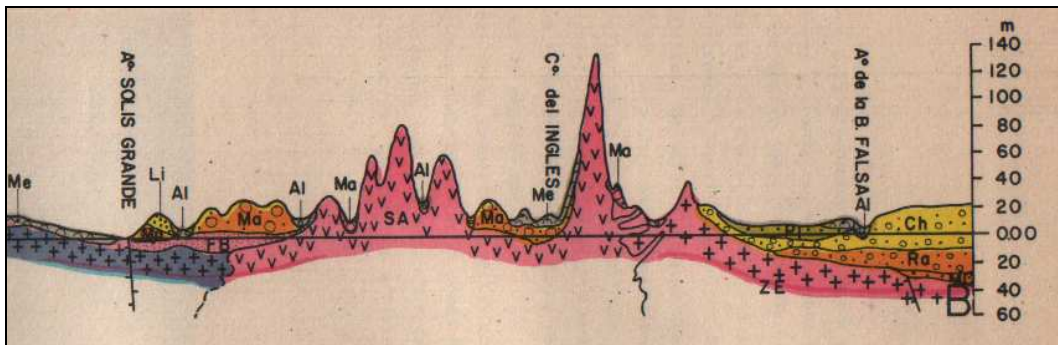


Figura 7.- Corte geológico de la zona oeste. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

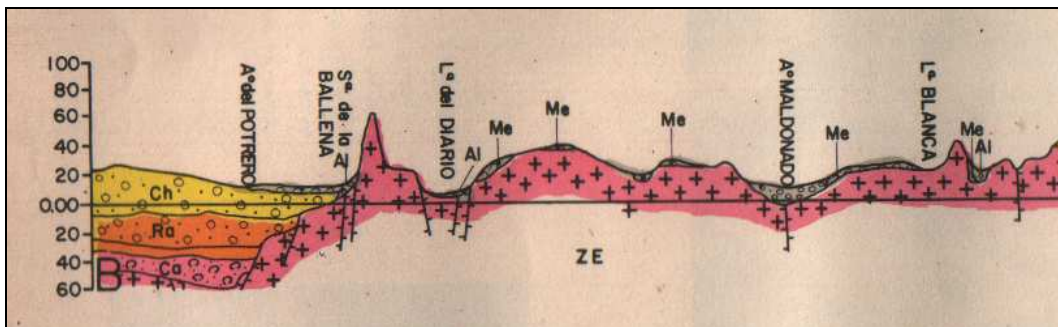


Figura 8.- Corte geológico de la zona centro. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

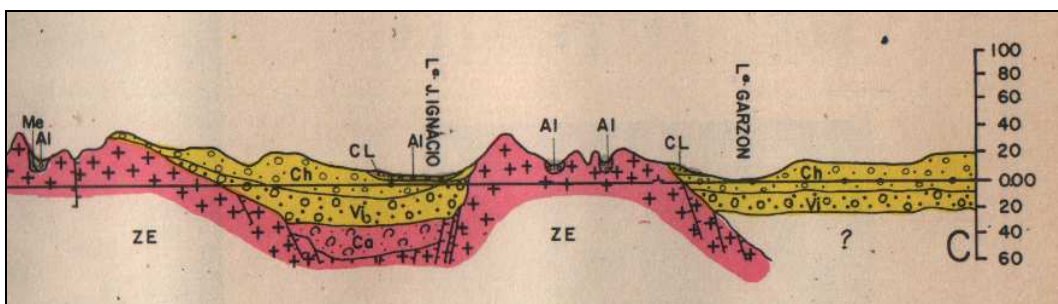


Figura 9.- Corte geológico de la zona este. Extraído de PNUD-MTOP-UNESCO (1978) "Conservación y Mejora de Playas"

Proterozoico (Precámbrico)

ZÓCALO DEL RÍO DE LA PLATA (ZC)

Representa el 60 % del escudo cristalino uruguayo, desarrollándose al este de una gran línea estructural de dirección N 15° E que nace en el borde oeste de la Sierra de Animas y se extiende hasta unos kilómetros al Este de la localidad de Cerro de las Cuentas (Dpto. de Cerro Largo), donde desaparece hacia el norte por debajo de la potente cobertura sedimentaria permo - carbonífera. Se caracteriza por la presencia, casi constante, de zonas de fracturación y milonitización de direcciones N 70° W y N 70° E, siendo esta la dirección de importantes fallas (muchas de las cuales fueron reactivadas por la tectónica cretácica, especialmente en el sur). Tentativamente, se han distinguido dos regiones de comportamiento tectónico diferente. La denominada Región Sur - Centro Occidental se desarrolla al oeste de una línea estructural de dirección N 10° W que, groseramente, une la localidad de Sarandí del Yí (Dpto. de

Durazno) con la Sierra de Animas (Dptos. de Lavalleja y Maldonado). Se caracteriza por grandes áreas granítico – migmatíticas entre las que se destacan los denominados Complejo Basal indiferenciado (gneises, migmatitas y metamorfitos profundos; gneises y paragneises granítico - muscovíticos, a veces granatíferos; gneises hornblendíticos de grano variable; anfibolitas, rocas hornblendo - augíticas, migmatitas, anatexitas y metamorfitos profundos de grano medio) y Granitos indiferenciados (granitos calcoalcalinos de grano medio a porfiroides, granitos porfiroides biotítico - andesíticos, granitos leucócratas de grano fino a grueso). En ellos se intercalan bandas de metamorfitos, siendo una de ellas la denominada Formación Montevideo (litológicamente integrada por gneises oligoclásticos, anfibolitas, micaesquistos y cuarcitas micáceas). A su vez, en estas bandas de metamorfitos han hecho intrusión numerosos cuerpos graníticos y granodioríticos tardi- y post-tectónicos.

Tomando en consideración las características señaladas, se puede concluir que el aporte directo al sistema de materiales provenientes de esta Formación es muy reducido. Las rocas cristalinas del Zócalo del Río de la Plata tienden a formar puntas o salientes resistentes en la costa. La influencia más marcada en los procesos costeros, dada por estas puntas o salientes, es la intervención directa en la dinámica del oleaje incidente.

ZÓCALO DEL ESTE Y SURESTE (ZE)

Esta unidad representa el 40% del escudo cristalino uruguayo y se desarrolla en una faja de aproximadamente 150 a 200 kilómetros. Esta unidad representa el basamento geológico de casi la totalidad de la costa del departamento de Maldonado.

Esta constituida por potentes bandas de metamorfitos que se desarrollan como dos cinturones separados entre sí por las áreas gneisico-migmatíticas y graníticas del Precámbrico Superior Moderno. Estructuralmente las direcciones preferenciales varían entre N 10 – 20° E, con buzamientos de 65 – 75 ° W existiendo, localmente variaciones importantes asociadas a estructuras plegadas y fenómenos tectónicos.

Asociadas a estas bandas de metamorfitos existen numerosas intrusiones graníticas y extensas áreas de rocas cuarcitas, gneísicas y granítico-migmatíticas.

Las rocas cuarcititas se encuentran en la punta y en la Sierra de la Ballena. Estas rocas son muy resistentes a la alteración y a la erosión; por ello el aporte de material en forma directa al medio costero es despreciable. Por el contrario, su morfología especial incide directamente en la dinámica costera.

Los gneisses afloran en punta del Chileno, en la punta del Este y en la desembocadura del arroyo Maldonado, fijando la posición de ésta. Los gneisses también forman el subsuelo de una franja paralela a la costa que se extiende desde Sierra de la Ballena hasta la laguna José Ignacio. El aporte

directo de materiales de estas rocas a las playas es muy pequeño, pero tiene particular importancia en el condicionamiento de la dinámica costera.

Paleozoico

CAMBRICO

Formación Sierra de las Animas (SA)

Se trata de una intrusión compleja a tendencia alcalina, integrada por: microsienitas, sienitas, sienitas cuarzosas, traquitas y riolitas, de color gris a gris – rojizo. Morfológicamente definen una cordillera de dirección N – S, de estructura filoniana, que se extiende desde Piriápolis hasta la zona cercana de Minas. En la costa el desarrollo geográfico se encuentra entre el arroyo Solís Grande y Punta Rasa.

Los afloramientos continentales son muy extensos y ocupan las partes más elevadas de la región. En la costa, los afloramientos de estas rocas determinan la gran mayoría de las puntas rocosas que rodean a Pirlápolis e influyen fuertemente en la dinámica costera.

La alteración intensa de estas rocas conduce a un producto rico en arcilla más que en arena. A causa del fuerte relieve de sus afloramientos las zonas costeras aledañas presentan una enorme abundancia de materiales rudáceos provenientes de la Formación Sierra de las Ánimas, tomando parte de unidades sedimentarias Cenozoicas o más modernas que intervienen en la dinámica costera de la región más cercana.

La mayor influencia de las rocas resistentes, de esta Formación y de las anteriores, radica en que constituyen la base de numerosas puntas que determinan las características de las playas (forma, dimensiones, orientación).

Terciario

OLIGOCENO

Formación Fray Bentos (FB)

Areniscas muy finas y loess, con contenidos variables de arena fina, local y fuertemente arcillosos (illita - montmorillonita), de estructura masiva, color naranja. Presenta carbonato de calcio en forma pulvurulenta, concreciones y lentes. En la base desarrolla niveles lodolíticos, fangolíticos y brechoides. Se le atribuye un ambiente continental a clima semiárido, con deposición eólica, con evidencias de transporte acuoso y en forma de flujos de barro hacia la base.

En la zona de estudio, esta Formación aflora en una extensión muy pequeña a nivel de playa del balneario Bella Vista y en las barrancas del balneario Solís.

La Formación Fray Bentos cumple, respecto a los fenómenos litorales, una función pasiva, actuando como sustrato sobre el que se apoyan las sedimentitas más modernas. El aporte de material al sistema costero de esta Formación es despreciable.

PLIOCENO

Formación Raigón (Ra)

Areniscas finas a conglomerádicas, mal seleccionadas, redondeadas a subredondeadas, feldespáticas, con estratificación cruzada y paralela de color blanco amarillento. Presenta intercalaciones de conglomerados y arcillas verdes. Las características litológicas y estructurales permiten asignarle un ambiente de sedimentación fluvial a deltaico. Presenta numerosos restos de mamíferos.

Esta es de las primeras unidades que tiene importancia como fuente de aportación de materiales detríticos al sistema costero.

MIOCENO

Formación Camacho (Ca)

Areniscas finas gris verdosas. Arenas finas cuarzosas, masivas de color blanco grisáceo, con intercalaciones de niveles arcillosos verdes. Areniscas finas a gruesas, mal seleccionadas, de estructura lenticular, de colores rosados. Banco de lumaquelas, con porcentaje variable de arena, de colores grises. El ambiente de deposición es marino, marino-litoral. Abundante fauna de moluscos fósiles en cantidades que superan las cien especies, por lo que resulta ser una referencia estratigráfica precisa..

Cuaternario

PLEISTOCENO

Formación Libertad (Li)

Lodolitas, loess y fangolitas con porcentaje variable de arenas y arcillas, de color pardo a pardo rojizo. Estos sedimentos fueron depositados en ambiente continental a clima semiárido con períodos de mayor humedad, que permiten acumulación de materiales finos por transporte eólico y su removilización junto a mantos de alteración por escurrimiento y deslizamientos en masa y solifluxión.

Estos materiales son muy friables y erosionables, por lo que son transportados por las corrientes fluviales hacia la costa. Al estar constituidos por tamaños de partículas muy finos, no permanecen en el medio costero.

Formación Malvín (Ma)

Esta es de las primeras unidades, junto con la Formación Raigón, que tiene importancia como fuente de aportación de materiales detríticos al sistema costero.

La Formación Malvín esta asociada a las fuertes pendientes de las laderas que flanquean la Sierra de Ánimas y los cerros cercanos a Pirlópolis. Los afloramientos más característicos se encuentran en los cortes que forman los arroyos en las laderas en su descenso hacia el Río de la Plata. Su composición es en base a materiales provenientes de la Sierra de Animas: cantos de traquitas, riolitas, sienitas y rocas básicas, englobadas en una matriz arenosa y arcillosa.

Los materiales de esta Formación son importantes en las playas inmediatas, ya que son aportados hacia ellas por la acción de las corrientes litorales y fluviales.

Formación Chuy (Ch)

Sedimentos arenosos, arcillo-arenosos, arcillas y lentes fosilíferos. Arenas finas a medias de selección variable, cuarzosas y cuarzo-feldespáticas, de colores blancos, verde-amarillentos y rojizos. Se trata de depósitos marinos, de potencia variable, normalmente interdigitados con depósitos continentales pertenecientes a la Formación Libertad; corresponde a una ribera elevada (+10.0 a +12.0 m sobre el nivel actual) cuyos depósitos contribuyeron a formar importantes acumulaciones litorales.

Es la unidad que aporta mayores cantidades de sedimentos detríticos al ambiente costero a través de barrancas litorales y de enormes cárcavas.

HOLOCENO

Reciente, actual y subactual (PI, Me, AI).

Se incluyen aquí los sedimentos más recientes y aquellos que actualmente están en proceso depositacional. De acuerdo a su origen pueden clasificarse en:

- Depósitos fluviales. Se ubican en las áreas inmediatas a los cursos de agua. En función de su posición topográfica podemos separar: depósitos en áreas de topografía moderada a fuerte (acumulaciones de cantos y bloques, depósitos de grava, gravilla y arenas gruesas), depósitos en áreas de topografía moderada (arenas pobremente seleccionadas de granometría variada con escasa matriz limo - arcillosa y materia orgánica), y depósitos en áreas de topografía suave (sedimentos finos, arcillo limosos y arenosos, abundante materia orgánica, colores grises y pardos).
- Depósitos de coluviación. Se desarrollan en las zonas bajas de laderas con pendientes moderadas a fuertes; litológicamente están integrados por sedimentos arenosos y limo-arcillosos con contenido variable de arena.
- Depósitos litorales y costeros. Podemos distinguir: depósitos de playa (acumulaciones de arenas finas a gruesas, cuarzosas a cuarzo - feldespáticas, blancas a amarillentas) y depósitos de dunas (acumulaciones de arenas generadas por la acción de los vientos predominantes, bien seleccionadas, cuarzosas, estratificación cruzada).
- Depósitos lagunares y de albuferas. Estos depósitos se localizan en áreas costeras detrás de las barras arenosas, hacia el continente; están conformados por sedimentos arcillosos, arcillo limosos y turbas.

3.3. Geomorfología de la zona de estudio

En rasgos generales, la costa del departamento de Maldonado esta conformada por playas arenosas con presencia de barras, cordones litorales, dunas y barrancas.

Las unidades geomorfológicas presenten pueden ser categorizadas como: playas y cordones; dunas y médanos; barrancas sedimentarias y lagunas litorales.

Playas y cordones

Son la forma dominante en la costa de Maldonado. Están constituidas por arenas de distinta granulometría (finas a gruesas), con uniformidad variada de pobre a bien seleccionadas, y en general arenas cuarzosas.

Las playas y cordones se desarrollan conformando arcos de extensión variable limitados por puntas rocosas, como se ilustra en la Figura 10; o como tramos rectos interrumpidos por alguna saliente rocosa o la desembocadura de cursos fluviales o lagunas costeras (Figura 11).



Figura 10.- Playa y cordón de dunas de un tramo en curva. . Tramo Punta Imán – Punta Colorada.



Figura 11.- Playa y cordón de dunas de un tramo recto. Tramo arroyo Maldonado - Punta José Ignacio.

Dunas y médanos

Las dunas y médanos son formaciones eólicas que se presentan en forma continua en casi toda la costa del departamento de Maldonado, teniendo como excepción el tramo de costa de la playa de Pirlápolis. Estas formaciones pueden desarrollarse como cordones múltiples o fijadas por la vegetación.

Prost (1982) distingue entre tres cordones de dunas:

- Dunas vivas y blancas alimentadas en parte por la arena de la playa y de los cordones que avanzan hacia el interior a partir de los vientos de mar adentro
- Dunas grises, que es un segundo cordón de dunas ubicado más hacia el interior con la característica de ser dunas pequeñas con edafización incipiente
- Dunas rojas, que es un tercer cordón de dunas con la particularidad de ser dunas muy alteradas y edafizadas, formando una mezcla de limos arcillosos y arenas medias a finas de excelente selección.

A modo ilustrativo se presenta en la Figura 12 una vista de la duna primaria.



Figura 12.- Vista de duna viva presente en el tramo arroyo Maldonado – Punta José Ignacio.

Barrancas sedimentarias

Las barrancas sedimentarias se encuentran en la costa de Maldonado en la zona de la desembocadura del arroyo Solís Grande. Estas barrancas se encuentran recostadas a la playa sometidas a la acción directa del oleaje incidente. En la Figura 13 se observa una vista de las barrancas activas.

Estas barrancas están formadas por materiales de la Formación Fray Bentos recubiertos por materiales de la Formación Malvín y Libertad con suelo vegetal y/o médanos en la parte superior. En la zona Oeste de la punta de las Ánimas alcanzan una altura de 14 metros.



Figura 13.- Vista de las barrancas presentes en Balneario Solís

Lagunas litorales

Estas lagunas son características de las costa Atlántica, a excepción de la Laguna del Sauce. Las lagunas representan antiguas bahías o golfos de la costa que ocuparon áreas deprimidas durante el Cuaternario. Estas bahías han quedado aisladas o casi aisladas del ambiente marino por la gran acumulación de depósitos litorales (barras y cordones de playa).

Los procesos que dieron lugar a la formación de estas lagunas litorales también se pueden percibir, aunque en menor magnitud, en la zona de las desembocaduras de los cursos fluviales, las que en muchas ocasiones se encuentran cerradas o parcialmente cerradas. Debido a esto y como consecuencia de otros factores, en la parte inferior de los cursos más importantes (arroyo Solís Grande, arroyo del Potrero, arroyo Maldonado) se han formado bañados o marismas.

En la Figura 14 y en la Figura 15 se observa la desembocadura de la Laguna José Ignacio y Laguna Garzón respectivamente.



Figura 14.- Vista en la zona de la desembocadura de la Laguna José Ignacio



Figura 15.- Vista en la zona de la desembocadura de la Laguna Garzón

3.4. Características de los cursos fluviales y de las lagunas litorales

Como se ha mencionado, un componente principal del sistema en estudio son los cursos fluviales y lagunas costeras. En la costa del departamento de Maldonado se diferencian cinco cuencas principales: la cuenca del arroyo Solís Grande, del arroyo Pan de Azúcar (Laguna del Diario), del arroyo Maldonado, del arroyo José Ignacio (Laguna José Ignacio) y del arroyo Garzón (Laguna Garzón). En la Figura 16 se esquematiza las cuencas mencionadas.

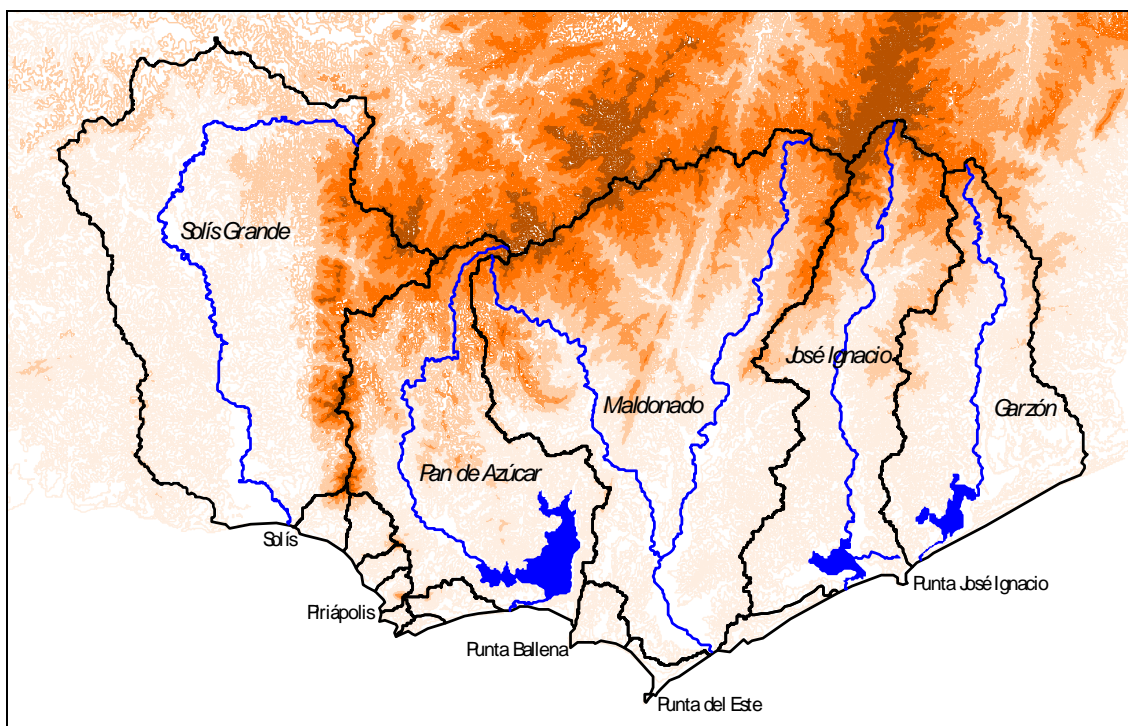


Figura 16.- Principales cuencas fluviales en el departamento de Maldonado.

	Solís Grande	Pan de Azúcar	Maldonado	José Ignacio	Garzón
Longitud del cauce (km)	99.2	65.0	82.1	51.2	50.3
Desnivel (m)	287	150	450	130	40
Pendiente (%)	0.29	0.23	0.55	0.25	0.08
Área (km ²)	1360	720	1481	706	580

Tabla 2.- Características de las principales cuencas del departamento de Maldonado

Por otra parte, en el tramo de costa oeste se suceden una serie de pequeños cursos fluviales que desembocan en el Río de la Plata. Las cuencas pueden observarse en la Figura 16.

4. VARIABLES FÍSICAS MEDIOAMBIENTALES

En este Capítulo se presentan los resultados de los análisis de las principales variables físicas involucradas en el sistema costero del departamento de Maldonado. A continuación se señalan las principales características de la batimetría y topografía, clima de vientos, clima de oleaje, niveles de marea, corrientes, e información de los sedimentos de la playa.

4.1. Batimetría y Relevamiento topobatimétrico

La información batimétrica se obtuvo principalmente de las cartas del Servicio de Oceanografía Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA). Mientras que la información topográfica de base se obtuvo de las cartas del Servicio Geográfico Militar (SGM).

A los efectos de complementar la información topográfica y batimétrica del tramo de costa del balneario Solís se realizó, en el marco del presente convenio, un relevamiento batimétrico y topográfico de la zona de playa y de barrancas. El objetivo de los relevamientos mencionados era ampliar la información de base en el estudio particular de la erosión de la playa y el retroceso de la barranca en ese tramo de costa. En la Figura 17 se aprecia una de las instancias de trabajo durante el relevamiento en tierra. Las tareas de campo referentes al relevamiento batimétrico se ejecutaron en el mes de febrero y marzo de 2008, mientras que las tareas de relevamiento topográfico en tierra se realizaron en el mes de abril de 2008.



Figura 17.- Relevamiento topográfico en la zona de tierra (playa y barranca)

El relevamiento batimétrico incluyó un área aproximada de 32 km², que va desde la punta Ánimas hasta la punta del balneario Cuchilla Alta, desde la costa hasta al menos la batimétrica 10. El relevamiento se basó en el levantamiento de datos de 24 perfiles transversales de la playa.

El relevamiento topográfico se basó en el levantamiento de 17 perfiles transversales de playa, incluido la barranca, en la zona del arco del balneario Solís. También se incluyó el relevamiento del pelo de agua y de la sección transversal de la desembocadura del arroyo Solís Grande.

La totalidad de la información batimétrica y topográfica se incluye en el Sistema de Información Geográfico (SIG) elaborado en este Convenio.

4.2. Clima medio de vientos

Como fue mencionado el análisis del clima de viento fue realizado para dos estaciones: Punta del Este y Pontón de Recalada.

Estación Punta del Este

La estación de Punta del Este posee un anemómetro instalado desde 1940 por la Dirección Nacional de Meteorología (DNM). Si bien su ubicación no es la óptima, puede considerarse como aceptable para vientos de intensidad media o fuerte. Aunque es frecuente la ausencia de direcciones y la falta de datos entre las 21 y las 6hrs, la información disponible es aceptable para un estudio general.

En el trabajo realizado por el IMFIA "Análisis de vientos de la Estaciones de Carrasco, Colonia y Punta del Este", se trabajó con los datos de velocidad y dirección de vientos horarios del período 1979-1984. A continuación se presenta los principales resultados de este análisis.

Análisis de frecuencias

En la Tabla 3 se presenta la frecuencia de ocurrencia para cada dirección y rango de velocidades. La velocidad esta en km/h. En la totalidad de los datos se registraron 5.56% de calmas.

Intervalo \ direc.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-5	2.84	2.22	1.58	1.34	1.47	1.78	2.96	1.43	1.03	1.25	0.90	1.03	1.53	2.26	2.99	3.23
5-10	21.18	15.44	10.91	9.36	10.39	11.01	13.76	9.27	8.11	7.99	8.44	9.49	9.09	13.11	12.64	17.80
10-15	25.01	23.04	17.51	17.23	13.69	16.27	15.05	9.99	9.42	11.39	10.61	11.63	12.34	19.39	15.83	20.04
15-20	29.06	31.39	29.65	26.43	23.99	24.83	22.03	17.49	15.80	18.49	15.04	15.99	19.27	21.52	26.55	32.37
20-25	10.59	13.59	19.84	15.90	14.77	15.49	16.23	13.47	13.34	15.50	13.19	11.24	11.61	13.84	16.50	12.54
25-30	7.51	9.27	12.31	16.50	18.91	14.52	13.49	18.51	18.43	16.84	15.15	15.48	15.33	12.68	13.37	8.05
30-35	1.85	2.42	4.36	6.54	7.62	6.73	6.56	9.89	10.01	8.13	8.65	7.78	6.75	5.67	5.19	2.63
35-40	1.42	1.93	2.78	5.04	5.98	5.86	5.91	10.47	12.39	10.81	11.98	12.23	10.04	5.43	3.93	2.30
40-45	0.30	0.40	0.66	1.23	1.77	1.49	1.67	3.65	4.50	3.66	6.23	4.75	3.91	1.77	1.26	0.55
45-50	0.17	0.14	0.33	0.38	0.81	1.21	1.18	3.00	3.72	2.14	4.64	4.92	3.80	1.89	0.67	0.16
50-55	0.02	0.12	0.06	0.02	0.36	0.37	0.54	0.89	0.81	0.94	1.69	2.27	1.97	0.79	0.27	0.27
55-60	0.04	0.00	0.00	0.02	0.19	0.23	0.38	0.99	1.26	1.21	1.53	1.71	2.37	1.04	0.13	0.00
60-65	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.14	0.05	0.38	0.22	0.40	0.84	0.56	0.77	0.12	0.27	0.05
65-70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.21	0.31	0.45	0.45	0.58	0.51	0.55	0.24	0.07	0.00
70-75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.27	0.32	0.09	0.29	0.06	0.07	0.00
75-80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.17	0.14	0.45	0.05	0.17	0.22	0.18	0.13	0.00
80-85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04	0.11	0.04	0.07	0.00	0.07	0.00
85-90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.00	0.13	0.07	0.00	0.07	0.00
90-95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.- Frecuencia de ocurrencia en porcentaje (Estación Punta del Este)

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de frecuencias según umbrales de velocidad, mientras que la Figura 18 presenta la rosa de vientos por umbrales de velocidad.

Dirección	Norte		NNE		NE		ENE		E		ESE		SE		SSE	
	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%
Vientos > 0 Km/h	4646	9.62	3472	7.19	3346	6.92	5521	11.43	5303	10.97	3479	7.20	1861	3.85	2933	6.07
Vientos > 30 Km/h	177	2.02	175	1.99	274	3.12	731	8.33	890	10.14	560	6.38	307	3.50	875	9.97
Vientos > 60 Km/h	0	0.00	1	0.37	0	0.00	1	0.37	3	1.10	7	2.57	5	1.84	28	10.29

Dirección	S		SSW		SW		WSW		W		WNW		NW		NNW		Total datos	
	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%
Vientos > 0 Km/h	3576	7.40	2239	4.63	1895	3.92	2339	4.84	2740	5.67	1640	3.39	1503	3.11	1826	3.78	48319	100.00
Vientos > 30 Km/h	1211	13.80	639	7.28	695	7.92	822	9.37	845	9.63	282	3.21	182	2.07	109	1.24	8774	18.16
Vientos > 60 Km/h	42	15.44	37	13.60	37	13.60	35	12.87	55	20.22	10	3.68	10	3.68	1	0.37	272	0.56

Tabla 4.- Frecuencia de ocurrencia según umbrales (Estación Punta del Este)

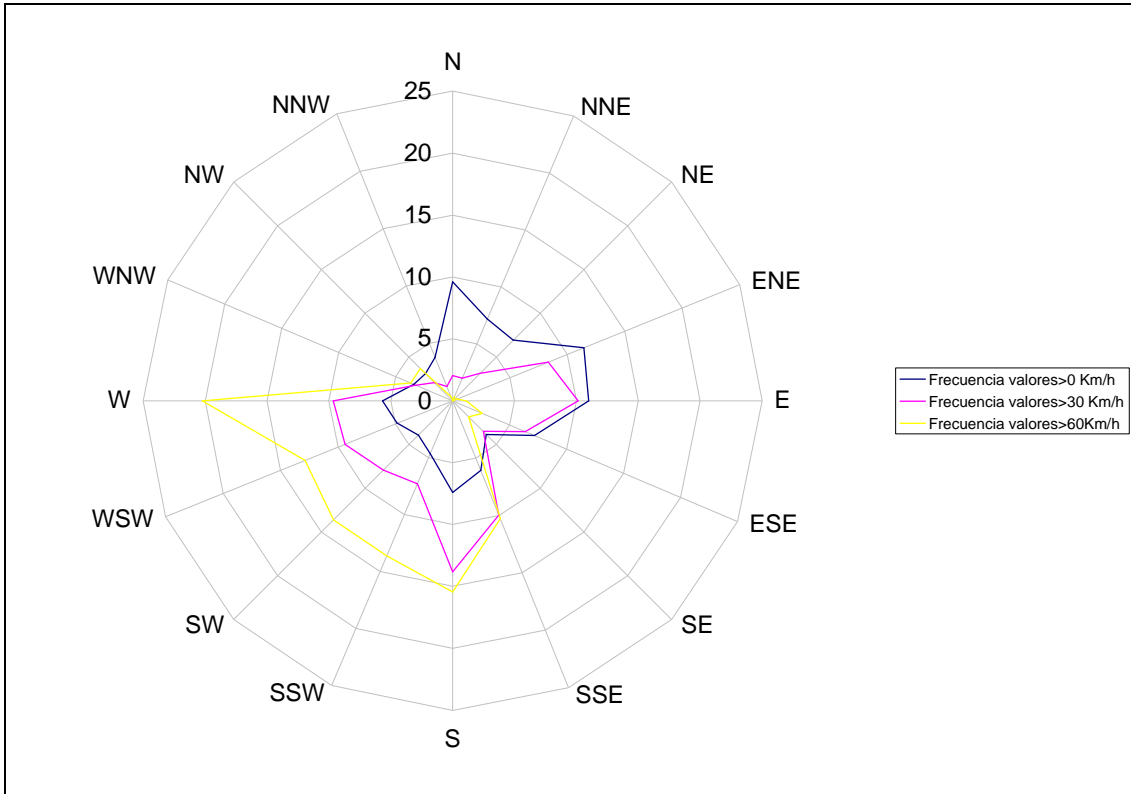


Figura 18.- Rosa de viento para umbrales de velocidad (Estación Punta del Este)

En análisis incluyo un ajuste estadístico de las curvas de distribución de probabilidad. En la Tabla 5 se presentan los parámetros calculados para las distribuciones de probabilidad en cada dirección. Se indica en amarillo la distribución que mejor ajusta en función del análisis gráfico y de los test de bondad de ajuste realizados (prueba χ^2 y prueba de Kolmogorov – Smirnov).

Dirección	PARAMETROS			
	Distribución Lognormal		Distribución de Gumbel	
	α	β	α	β
N	3.5600	0.2202	0.1480	32.2628
NNE	3.5618	0.2192	0.1507	32.3721
NE	3.5749	0.2392	0.1459	32.8465
ENE	3.6820	0.2033	0.1582	36.9773
E	3.6913	0.2135	0.1288	36.7168
ESE	3.6759	0.2317	0.1218	35.9960
SE	3.5810	0.3050	0.1105	32.4616
SSE	3.7510	0.3631	0.0843	38.4579
S	3.9134	0.2842	0.0883	45.6427
SSW	3.7975	0.2601	0.0917	40.1122
SW	3.8444	0.3515	0.0766	42.1375
WSW	3.7554	0.4295	0.0652	37.9607
W	3.7772	0.3902	0.0661	38.6104
WNW	3.5028	0.4279	0.0774	29.0625
NW	3.4180	0.4218	0.0881	26.8261
NNW	3.3849	0.3535	0.1115	26.3394

Tabla 5.- Parámetros de las distribuciones de probabilidad (Estación Punta del Este)

En la Figura 19 se presenta una rosa de vientos para cada período de retorno. La estimación fue realizada mediante los ajustes realizados.

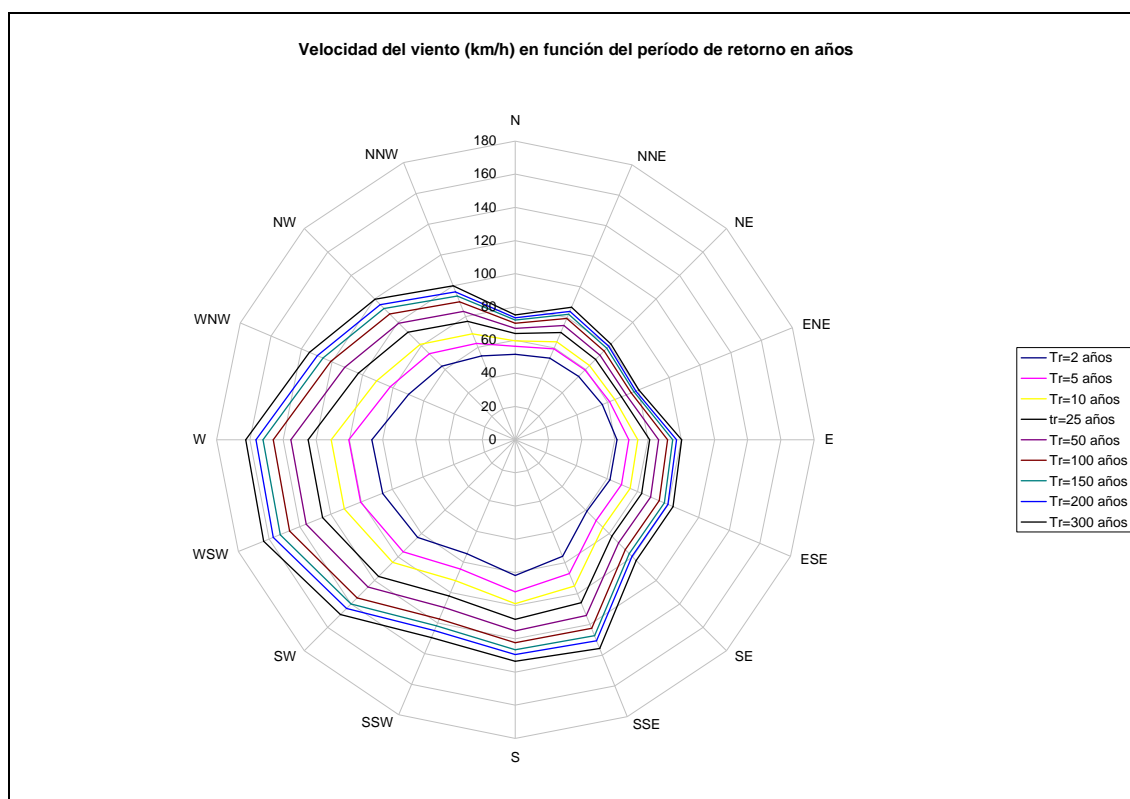


Figura 19.- Velocidad del viento (km/h) y período de retorno (Estación Punta del Este)

Estación Pontón Recalada

En el análisis realizado para los datos de la estación Pontón Recalada, la información de vientos que fue utilizada corresponde a registros trihorarios de vientos en el período 1997-2001.

En la Tabla 6 se presenta la frecuencia de ocurrencia para cada dirección y rango de velocidades.

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total (%)
0-3	2.2	1.6	2.3	1.0	1.4	0.9	1.1	0.8	11
3-5	2.2	1.8	2.6	1.2	1.6	0.9	1.3	0.9	13
5-7	2.8	2.8	4.2	1.9	2.2	1.4	1.6	1.6	19
7-9	1.9	1.8	2.8	1.2	1.8	0.8	1.0	0.6	12
9-11	2.4	2.6	3.8	1.9	2.4	1.6	1.5	1.2	17
11-13	1.2	1.4	2.4	1.2	1.4	1.1	0.8	0.5	10
13-15	0.5	0.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.2	5
15-17	0.4	0.4	1.1	0.7	0.8	0.5	0.5	0.1	5
17-19	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	1
19-21	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	1
21-23	...	...	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	...	0
23-25	...	...	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	...	0
25-27	...	...	...	0.0	...	0.0	0.0	...	0
27-29	...	...	...	...	...	...	...	...	0
29<	...	...	...	...	0.0	0.0	...	...	0
Total	14	13	21	10	13	8	9	6	94

Tabla 6.- Frecuencia de ocurrencia en porcentaje (Estación Pontón de Recalada)

En la serie de datos, se registraron un 6% de calmas totalizando el 100% de los datos.

La Figura 20 y la Figura 21 la rosa de vientos para las distintas estaciones y la rosa de viento total respectivamente.

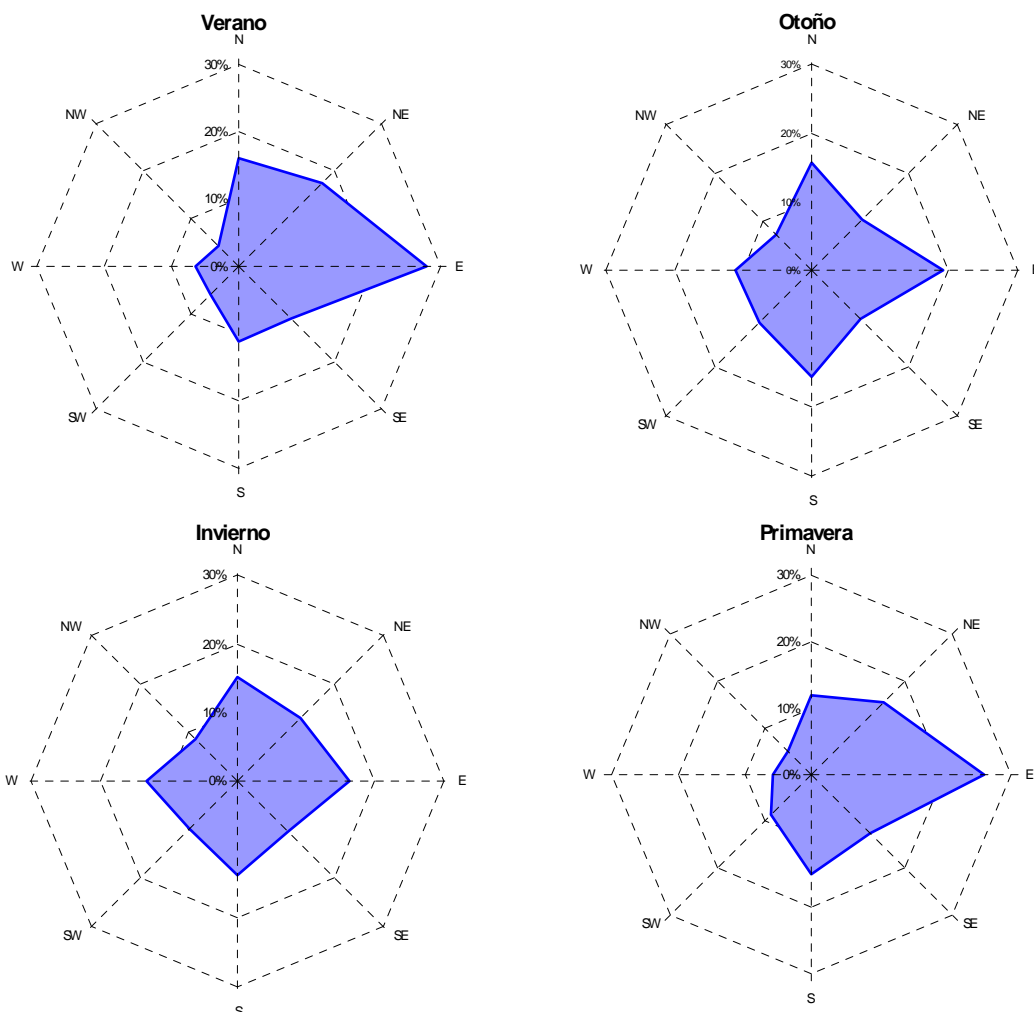


Figura 20.- Rosas de viento por estación del año (Estación Pontón de Recalada)

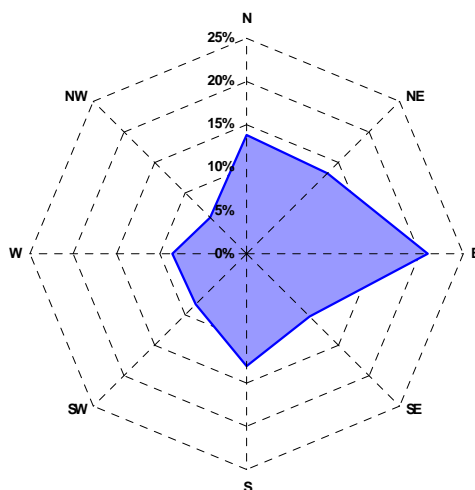


Figura 21.- Rosa de viento (Estación Pontón de Recalada)

4.3. Clima medio de olas

En la costa de Maldonado, en particular en la parte correspondiente al Río de la Plata, coexisten dos tipos de oleaje. Por una parte, el oleaje es producido por la acción del viento sobre la superficie del Río de la Plata, oleaje denominado tipo "Sea" u oleaje de viento. Su generación en esta zona tiene la particularidad de producirse en condiciones de aguas limitadas en profundidad, razón por la cual la generación ocurre simultáneamente con otros procesos, como ser la refracción, la difracción y el asomeramiento. Por otra parte, aunque en menor medida, también existe un oleaje de tipo "Swell" u oleaje de mar de fondo, que es generado en aguas profundas y que se propaga hacia el interior del Río de la Plata. Para este tramo de la costa del Río de la Plata el oleaje de mar de fondo ("Swell") va perdiendo energía a medida que ingresa en el estuario, debido a las condiciones de aguas poco profundas (menores a 20 m en su gran mayoría). Es por esto que en dicha zona el oleaje que registra mayores alturas es generado por la acción del viento de tipo "Sea".

Metodología

En esta instancia, sobre la base de la información de oleaje recopilada y propagada hacia la zona de interés mediante modelación numérica junto con el cálculo del oleaje a partir de los datos de viento, se obtuvo el clima de olas en siete puntos o boyas virtuales a lo largo de toda la costa del departamento de Maldonado. En la Figura 22 se presenta la ubicación de las boyas virtuales.



Figura 22.- Ubicación de las boyas virtuales

Por una parte, se obtuvo el clima de olas en cada una de las boyas virtuales a partir del clima de olas medido por la boya de Hidrovía en la boca del Río de la Plata, ubicado en la mitad del segmento que une Punta del Este con San Clemente (aproximadamente a 110 km al SW de Punta del Este). La dirección predominante del mar de fondo registrado en la boya de Hidrovía es SE y por tanto la propagación desde esa boya hasta la costa de Maldonado no pudo ser

hecha de forma directa dado que la línea que une las distintas boyas virtuales tiene dirección aproximadamente SW. Por lo tanto, se realizaron, mediante modelación numérica, propagaciones desde aguas profundas de modo de obtener datos que correlacionaran el oleaje en la boya de Hidrovía con el oleaje en las distintas boyas virtuales. En función de los resultados obtenidos en ambos puntos, se pudo transformar el mar de fondo registrado en Hidrovía en el correspondiente oleaje en la zona de interés.

Por otra parte se realizó el cálculo del oleaje de viento o "Sea" a través de modelos de generación de olas, en función de los vientos registrados en la estación Pontón Recalada, ubicada en el Río de la Plata.

En resumen, los pasos realizados para la determinación del oleaje fueron:

- Cálculo del oleaje producido por la acción del viento
- Propagación del oleaje de mar de fondo desde aguas profundas, utilizando datos de altura de ola medidos directamente.
- Construcción de un régimen medio de ola utilizando los dos oleajes antes calculados

Para generar el régimen medio de oleaje se tomó la estadística de vientos del Pontón de Recalada junto con los datos de viento medidos en la boya de la empresa Hidrovía. Sobre esa base se admitió que:

- Cuando la velocidad de viento es menor a 3 m/s y/o la dirección del viento es NW, N o NE, el oleaje producido por la acción del viento local es despreciable y el oleaje predominante es el oleaje de mar de fondo (45,5 % del tiempo).
- Cuando la velocidad de viento es mayor a 3 m/s y la dirección es E, SE, S, SW o W, el oleaje dominante es el oleaje local de viento calculado.

Resultados

A continuación se presentan los resultados del clima de ola para las distintas boyas virtuales. En la Tabla 7 se presenta la frecuencia del oleaje por altura y dirección, mientras que en la Tabla 8 y la frecuencia de ocurrencia del periodo pico del oleaje.

Convenio IMMaldonado-Facultad de Ingeniería (UdelaR): "Estudio de Problemas Costeros"
 Caracterización general de la costa del departamento de Maldonado

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	...	10.1	2.4	0.9	1.3	15
0.4-0.8	...	28.3	8.2	1.4	2.6	41
0.8-1.2	...	12.4	4.4	0.8	1.5	19
1.2-1.6	...	6.0	2.9	2.4	...	11
1.6-2.0	...	2.9	1.6	2.2	...	7
2.0-2.4	...	2.1	0.1	0.7	...	3
2.4-2.8	...	1.1	0.7	0.8	...	3
2.8-3.2	...	0.2	0.9	0.0	...	1
3.2-3.6	...	0.2	0.4	...	...	1
3.6-4.0	...	0.0	0.3	...	...	0
4.0-4.4	...	0.0	0.1	...	...	0
4.4-4.8	...	0.0	0.1	...	...	0
4.8-5.2	0
5.2-5.6	0
5.6-6.0	0
6.0<	0
Total	0	63	22	9	5	100

Solís

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	...	7.6	1.8	0.9	1.3	12
0.4-0.8	...	26.0	6.8	1.4	1.6	36
0.8-1.2	...	15.6	5.7	0.8	1.0	23
1.2-1.6	...	7.2	3.2	1.6	1.5	13
1.6-2.0	...	3.2	0.2	1.1	1.4	6
2.0-2.4	...	1.5	1.6	0.6	0.5	4
2.4-2.8	...	1.3	0.8	0.5	0.1	3
2.8-3.2	...	0.8	0.8	0.2	0.1	2
3.2-3.6	...	0.2	...	0.0	0.0	0
3.6-4.0	...	0.2	0.3	0.1	...	1
4.0-4.4	0.3	0.1	...	0
4.4-4.8	...	0.0	...	0.0	...	0
4.8-5.2	...	0.0	0.1	...	...	0
5.2-5.6	...	0.0	0.1	...	...	0
5.6-6.0	0
6.0<	0
Total	0	64	22	7	7	100

Piriápolis

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	2.6	4.2	1.7	0.9	1.3	11
0.4-0.8	...	22.7	5.4	1.4	1.6	31
0.8-1.2	...	16.3	6.8	2.3	1.0	26
1.2-1.6	...	8.8	4.1	2.4	...	15
1.6-2.0	...	2.5	0.5	1.7	...	5
2.0-2.4	...	1.8	1.6	0.5	...	4
2.4-2.8	...	2.1	0.8	0.7	...	4
2.8-3.2	...	1.2	0.1	0.6	...	2
3.2-3.6	...	0.1	0.8	0.2	...	1
3.6-4.0	...	0.2	0.3	0.1	...	1
4.0-4.4	...	0.2	...	0.0	...	0
4.4-4.8	...	0.0	0.3	0.1	...	0
4.8-5.2	...	0.0	0.1	0.0	...	0
5.2-5.6	...	0.0	...	...	...	0
5.6-6.0	...	0.0	0.1	...	...	0
6.0<	0
Total	3	60	22	11	4	100

Potrero

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	2.6	12.4	2.2	0.9	1.3	19
0.4-0.8	...	19.0	8.2	1.4	1.6	30
0.8-1.2	...	6.9	12.5	0.8	1.0	21
1.2-1.6	...	2.5	8.1	1.6	1.5	14
1.6-2.0	...	1.4	2.3	0.8	...	5
2.0-2.4	...	0.4	2.7	2.2	...	5
2.4-2.8	...	0.1	0.9	0.7	...	2
2.8-3.2	...	0.0	0.8	0.6	...	1
3.2-3.6	...	0.1	1.0	0.2	...	1
3.6-4.0	0.2	0.0	...	0
4.0-4.4	0.3	0.1	...	0
4.4-4.8	0.3	0.0	...	0
4.8-5.2	0.0	0.1	...	0
5.2-5.6	0.1	...	...	0
5.6-6.0	0.1	...	...	0
6.0<	0
Total	3	43	40	9	5	100

Punta Chileno

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	2.6	1.2	1.6	2.2	...	8
0.4-0.8	4.8	8.9	5.4	4.0	...	23
0.8-1.2	5.3	16.3	6.4	2.3	...	30
1.2-1.6	4.2	7.9	3.9	2.4	...	18
1.6-2.0	0.1	2.2	0.5	2.2	...	5
2.0-2.4	2.4	1.9	1.6	0.1	...	6
2.4-2.8	1.2	1.4	0.8	0.7	...	4
2.8-3.2	0.0	0.2	0.1	0.6	...	1
3.2-3.6	1.1	0.8	1.0	...	...	3
3.6-4.0	...	0.1	0.4	...	...	0
4.0-4.4	0.3	0.2	0.0	...	...	1
4.4-4.8	...	0.2	0.4	...	...	1
4.8-5.2	...	...	0.1	...	...	0
5.2-5.6	...	0.1	...	...	...	0
5.6-6.0	...	0.1	0.1	...	...	0
6.0<	...	0.0	...	...	...	0
Total	22	41	22	14	0	100

Playa Brava

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	2.6	1.2	1.6	2.2	...	8
0.4-0.8	6.0	5.8	3.6	4.0	...	19
0.8-1.2	5.4	13.2	5.7	2.3	...	27
1.2-1.6	4.2	8.2	5.1	3.0	...	20
1.6-2.0	0.1	5.6	2.2	0.5	...	8
2.0-2.4	2.4	2.7	2.5	0.1	...	8
2.4-2.8	1.3	0.8	0.7	0.1	...	3
2.8-3.2	...	1.1	1.0	0.0	...	2
3.2-3.6	1.1	0.2	0.8	...	...	2
3.6-4.0	...	1.2	0.2	...	...	1
4.0-4.4	...	0.2	0.3	...	...	1
4.4-4.8	...	0.1	0.1	...	...	0
4.8-5.2	...	0.2	0.3	...	...	0
5.2-5.6	...	0.1	0.1	...	...	0
5.6-6.0	...	0.1	0.1	...	...	0
6.0<	...	0.0	...	...	...	0
Total	23	41	24	12	0	100

Manantiales

Hmo (m)	E	SE	S	SW	W	Total
0.0-0.4	2.6	1.2	1.6	2.2	...	8
0.4-0.8	5.7	6.4	3.2	4.0	...	19
0.8-1.2	4.9	14.7	4.1	2.3	...	26
1.2-1.6	4.1	9.3	5.6	1.4	...	20
1.6-2.0	2.4	6.3	1.7	0.5	...	11
2.0-2.4	0.0	3.0	2.4	0.1	...	5
2.4-2.8	1.3	1.0	0.1	0.1	...	2
2.8-3.2	...	2.2	1.3	0.0	...	4
3.2-3.6	...	0.2	1.0	...	...	1
3.6-4.0	...	1.2	0.2	...	...	1
4.0-4.4	...	0.3	0.3	...	...	1
4.4-4.8	...	0.0	0.1	...	...	0
4.8-5.2	...	0.2	0.3	...	...	0
5.2-5.6	...	0.1	...	...	...	0
5.6-6.0	...	0.1	0.1	...	...	0
6.0<	...	0.0	0.1	...	...	0
Total	21	46	22	11	0	100

ANCAP

Tabla 7.- Frecuencia de ocurrencia de la altura de ola en cada una de las boyas virtuales

Tp (s)	Solís	Piriápolis	Potrero	Punta Chileno	Brava	Manantiales	ANCAP
0-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-2	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	1.3	0.0
2-3	7.7	7.7	7.7	9.2	7.7	6.3	7.7
3-4	11.4	11.4	14.2	10.0	11.4	11.4	11.4
4-5	9.1	9.1	4.8	4.8	6.4	6.4	6.4
5-6	12.7	12.2	12.0	12.0	12.4	10.0	10.0
6-7	7.6	6.8	7.9	7.9	8.6	11.1	10.4
7-8	1.8	3.0	3.6	3.4	3.5	3.5	3.5
8-9	10.3	10.2	10.2	10.3	10.3	10.3	10.8
9-10	8.7	8.9	8.9	9.0	9.0	8.9	9.0
10-11	8.6	8.8	8.8	8.7	8.7	8.8	8.7
11-12	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.9	7.9
12-13	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
13-14	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
14-15	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
15-16	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16-17	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
17-18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18<	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 8.- Frecuencia de ocurrencia del periodo pico para las distintas boyas virtuales

La Figura 23, la Figura 24 y la Figura 25 muestran los resultados gráficos de la distribución por altura, por dirección y por periodo pico del clima de oleaje respectivamente, en la zona de Solís.

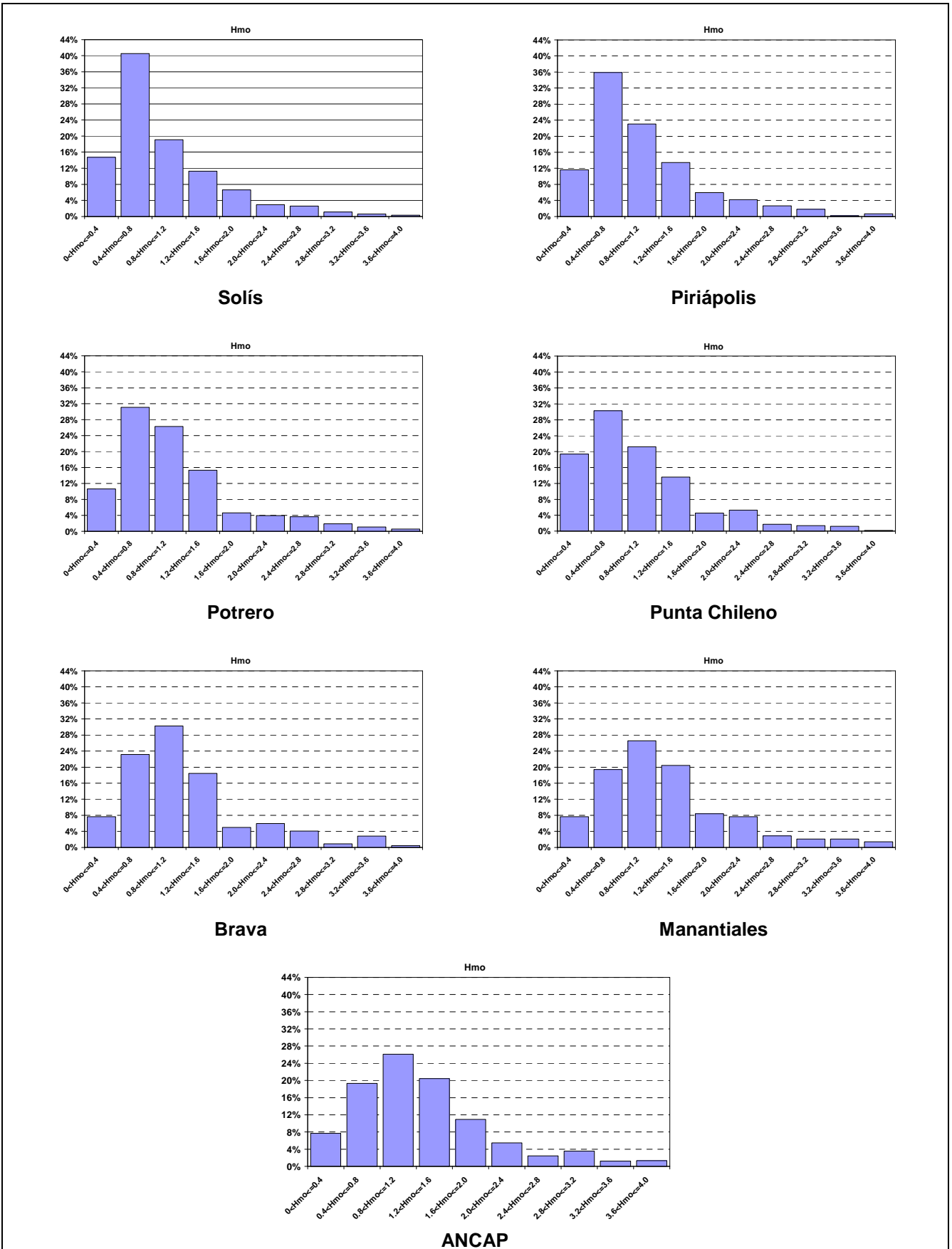


Figura 23.- Distribución por altura de ola para cada una de las boyas

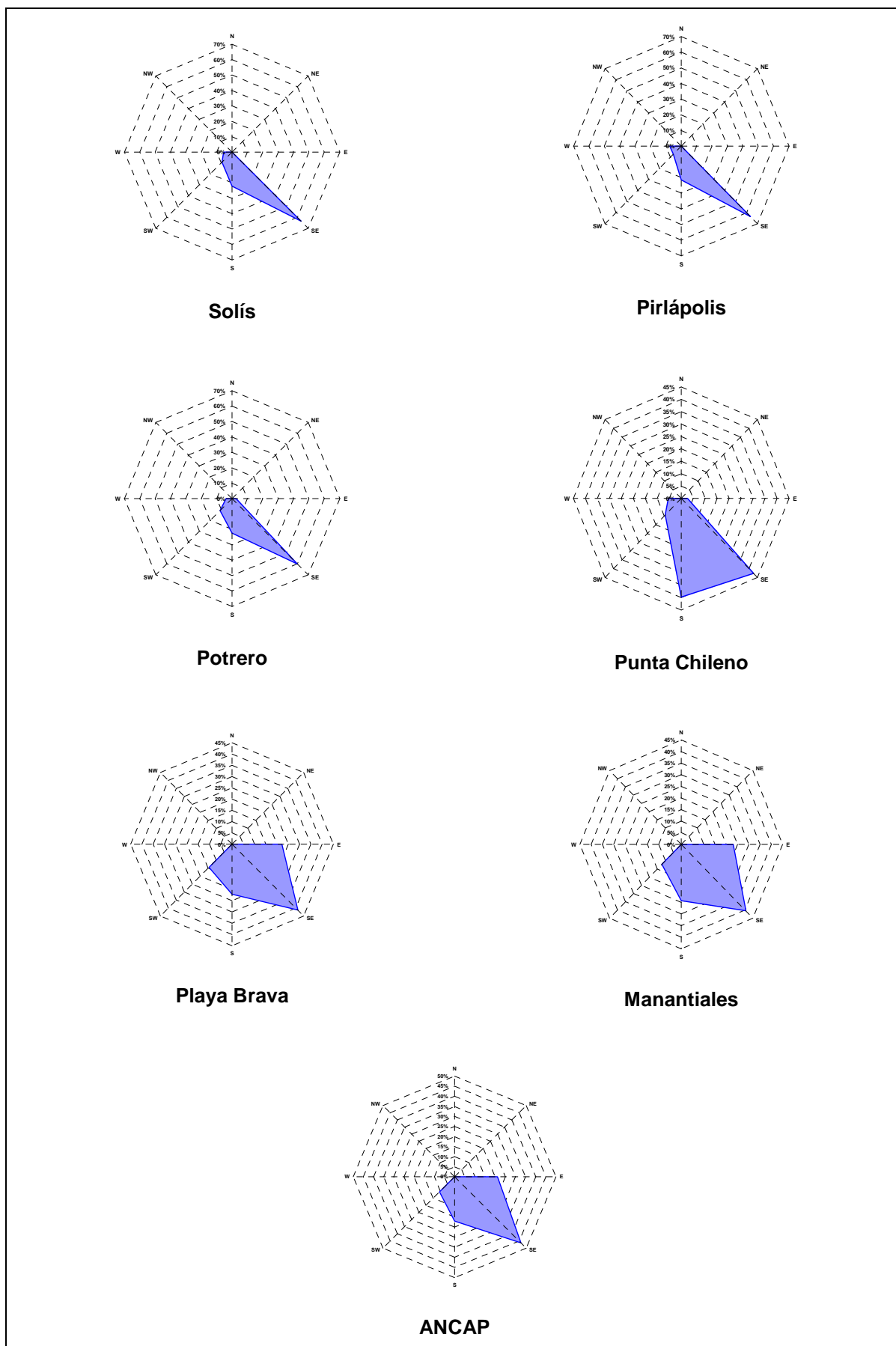
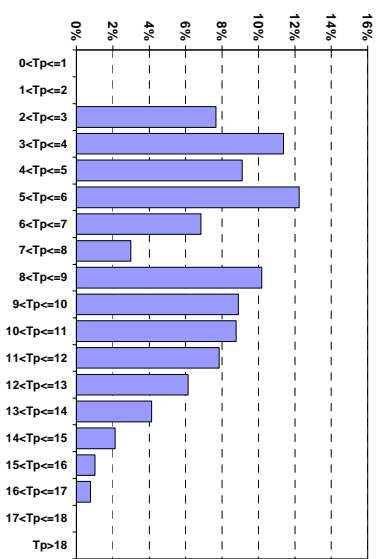
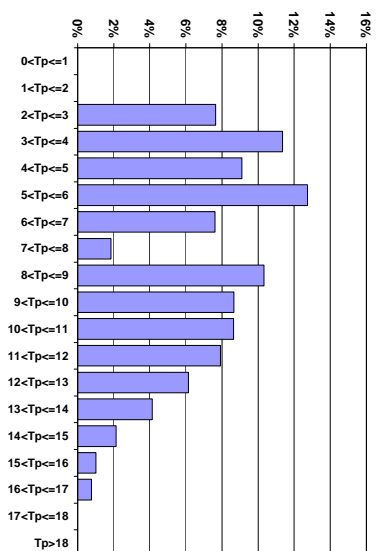
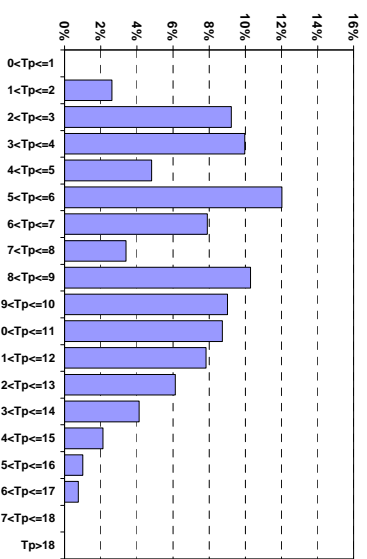
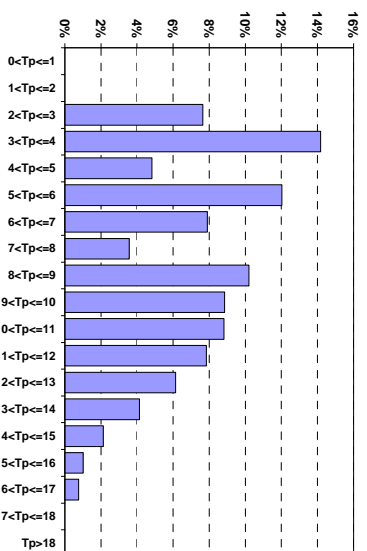


Figura 24.- Distribución de las olas por dirección para cada una de las boyas



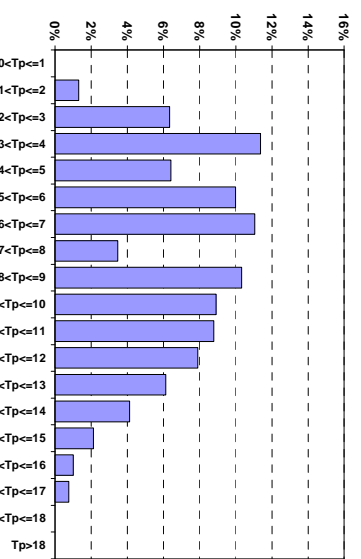
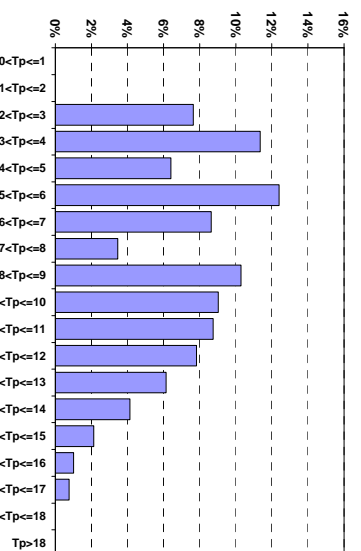
Solís

Piriápolis



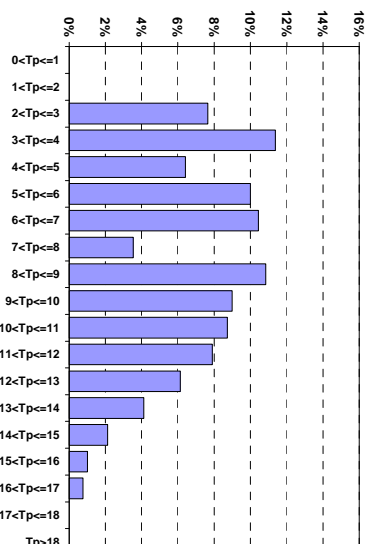
Potrero

Punta Chileno



Brava

Manantiales



ANCAP

Figura 25.- Distribución del clima de oleaje por periodo pico para cada una de las boyas

Los resultados obtenidos tanto para la altura de las olas, como para la dirección y el periodo pico, permiten establecer tres tipos de clima de olas que pueden denominarse como:

- Clima de olas "atlántico": observado en las boyas Brava, Manantiales y ANCAP
- Clima de olas "transición": observado en las boyas Potrero y Punta de Chileno
- Clima de olas "estuario": observado en las boyas Solís y Piriápolis

En el clima de ola "estuario", los resultados muestran que prácticamente el 85% de las olas tiene altura menor a 1.6 m y que la mitad de las alturas de olas son menores a 0.8 m. A medida que nos trasladamos hacia el Océano Atlántico las alturas de olas mayores adquieren mayor frecuencia de ocurrencia. Por ejemplo, las olas de altura menor a 1.6 m son en la zona de "transición" el 83 % de la totalidad de las olas, mientras que en la zona "atlántica" son el 75 % de todas las olas. La mitad de las olas tiene altura menor a 0.8 m en la zona de "transición", mientras que en la zona "atlántica" la mitad es menor a 1 m.

Además, mientras que para las boyas de Solís y Piriápolis las alturas de olas se concentran en el rango de altura entre 0.4 y 1.2 metros, en las boyas más al este, las alturas de ola se van uniformizando en su distribución en los distintos rangos de altura, en particular hacia alturas mayores.

Respecto a las direcciones se observa de manera clara que en la zona "estuario" el oleaje proviene prácticamente en su totalidad del cuadrante formado por la dirección SW y SE, con una fuerte predominancia de los oleajes de dirección SE (63%). Por otra parte, en la zona "atlántico" el oleaje se distribuye de manera casi uniforme entre las direcciones SW y E, adquiriendo una componente más E que en la zona "estuario".

Los resultados en cuanto al período del oleaje muestran para todas las boyas la diferenciación entre un oleaje producido por la acción local y un oleaje de mar de fondo. El oleaje producido por la acción del viento local está asociado a un periodo pico de entre 3 y 7 segundos, mientras que, el oleaje de mar de fondo está asociado a un periodo pico entre 8 y 17 segundos. Los resultados indican que los dos tipos de oleaje se presentan con frecuencias similares.

Resultante de Energía

La forma en planta de una playa está asociada a las condiciones energéticas medias del oleaje, y depende de la dirección que tiene el flujo medio anual de energía en la zona. El flujo medio anual de energía se define por la siguiente fórmula:

$$F = \sum_{i=1}^N H_i^2 \vec{C}_{gi}$$

Siendo H la altura de la ola, C_g la celeridad de grupo y N el número de oleajes que se presentan en el año. A partir del clima medio anual de oleaje establecido se calculó la dirección del flujo medio anual de energía para cada una de las boyas virtuales. En la Figura 26 se presentan las resultantes de la energía del oleaje en cada una de las boyas virtuales. En la Tabla 9 se presentan los resultados de las direcciones.



Figura 26.- Dirección del flujo medio anual de energía dado por el clima de olas

Solís	Piriápolis	Potrero	Punta Chileno	Brava	Manantiales	ANCAP
SSE (105)	SSE (108)	SSE (108)	S (96)	SSE (123)	SSE (123)	SSE (122)

Tabla 9.- Dirección de la resultante de energía del oleaje

Al observar los resultados de la dirección de las resultantes de la energía del oleaje en todas las boyas, se confirma la existencia de tres zonas: zona "atlántica" con mayor componente de la dirección Este que la zona "estuario" y la zona de "transición" con mayor componente Sur.

4.4. Niveles de mar

Para la determinación de esta variable fueron utilizadas seis estaciones de la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH). En este capítulo se realiza un estudio del comportamiento de los datos máximos, medios y mínimos diarios y un ajuste de los datos máximos anuales. Estos estudios permiten conocer los eventos medios y extremos respecto a esta variable.

La Figura 27 ubica las estaciones y la Tabla 10 muestra el período de datos de niveles que fueron provistos el Departamento de Hidrología de la DNH.

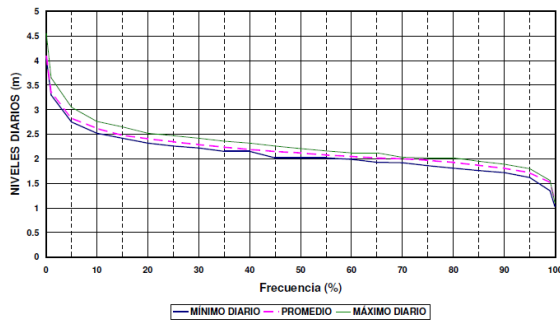


Figura 27.- Estaciones hidrométricas de la DNH

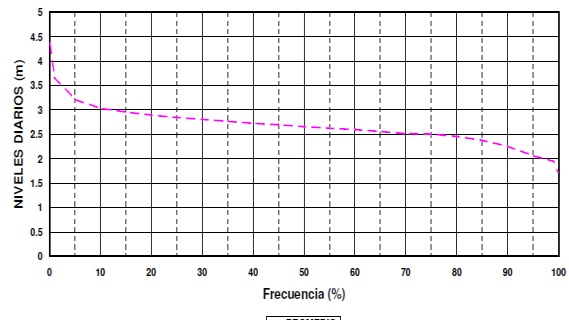
Cuenca del Río de la Plata	Período
199.0 Peaje Solís	1996-2007
198.0 La Floresta	1996-2007
113.0 Piriápolis	1971-2007
83.0 Punta del Este	1971-2007
Cuenca del Océano Atlántico	Período
69.0 José Ignacio (R-10)	1983-1997
67.1 Laguna Garzón	1982-2005

Tabla 10. Estaciones de medición de marea

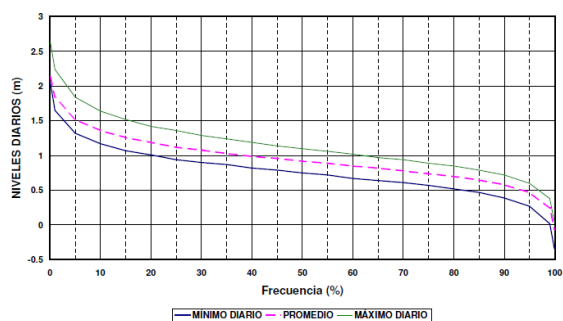
A continuación se muestran las curvas de frecuencias de datos diarios para cada una de las estaciones.



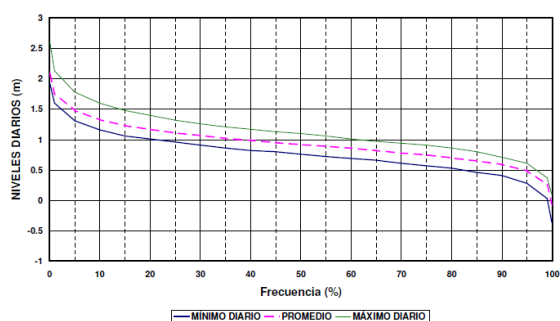
Estación 199.0 Peaje Solís



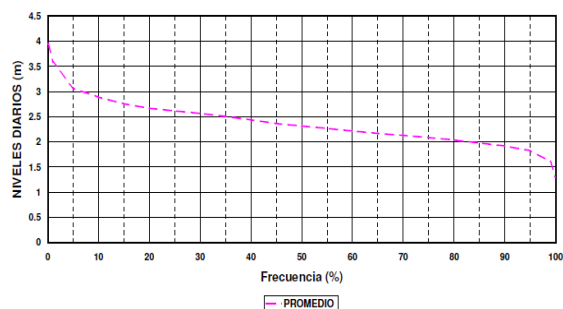
Estación 198.0 La Floresta



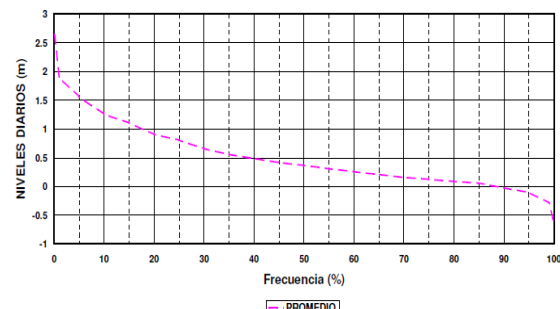
Estación 113.0 Piriápolis



Estación 83.0 Punta del Este



Estación 69.0 José Ignacio (R-10)



Estación 67.1 Laguna Garzón

Los niveles de las estaciones Peaje Solís, La Floresta, José Ignacio y Laguna Garzón difieren del nivel medio del mar debido a que los niveles responden a la combinación de las variaciones de marea y los regímenes fluviales y lacustres.

Los niveles de Piriápolis y Punta del Este son medidos en los propios puertos. Los resultados del nivel medio se asemejan entre los registros de ambas estaciones y están en el entorno del Cero Oficial, para Piriápolis es 0.01 m y para Punta del Este -0.01 m. En la Tabla 11 se presentan los niveles de marea en función de la frecuencia de ocurrencia. Los niveles presentados son los mínimos, medios y máximos diarios y se encuentran referenciados al 0 Oficial.

Frecuencia (%)	Piriápolis			Punta del Este		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max
0.1	1.14	1.22	1.72	0.99	1.15	1.67
1	0.74	0.93	1.33	0.67	0.83	1.20
5	0.41	0.61	0.93	0.38	0.55	0.85
10	0.26	0.45	0.73	0.23	0.40	0.67
15	0.16	0.35	0.61	0.13	0.30	0.55
20	0.10	0.28	0.51	0.08	0.24	0.47
25	0.03	0.21	0.45	0.03	0.18	0.39
30	-0.01	0.17	0.38	-0.02	0.14	0.33
35	-0.04	0.12	0.33	-0.07	0.09	0.28
40	-0.09	0.08	0.28	-0.11	0.06	0.24
45	-0.12	0.05	0.23	-0.13	0.02	0.20
50	-0.16	0.01	0.19	-0.17	-0.01	0.17
55	-0.19	-0.02	0.15	-0.21	-0.04	0.13
60	-0.24	-0.06	0.11	-0.24	-0.07	0.08
65	-0.27	-0.09	0.06	-0.27	-0.11	0.04
70	-0.30	-0.13	0.03	-0.32	-0.15	0.01

Tabla 11. Niveles de marea, respecto al 0 Oficial, en los puertos de Piriápolis y Punta del Este

Niveles máximos anuales

En la Tabla 12 se presentan los datos de niveles máximos anuales para cada una de las estaciones.

Año	Cuenca del Río de la Plata				Cuenca del Océano Atlántico	
	Peaje Solís	La Floresta	Piriápolis	Punta del Este	José Ignacio	Laguna Garzón
1971			2.31	2.55		
1972			1.86	2.38		
1973			2.31	2.65		
1974			2.16	2.30		
1975			1.86	2.37		
1976			2.66	2.70		
1977			2.51	2.65		
1978			2.36	2.70		
1979			2.81	2.60		
1980			2.64	2.49		
1981			2.12	2.60		
1982			2.38	2.40		2.17
1983			2.60	2.40	4.46	1.75
1984			2.46	2.36	3.91	1.92
1985			2.85	2.49	3.91	1.90
1986			2.27	2.15	4.31	2.30
1987			2.61	2.53	3.46	1.61
1988			2.42	2.78	4.21	2.28
1989			2.45	2.34	2.91	1.28
1990			2.55	2.55	3.57	1.52
1991			2.45	2.30	3.46	2.00
1992			2.48	2.36	3.40	2.18
1993			2.28	2.56	3.70	2.40
1994			2.63	1.75	3.36	2.25
1995			2.33	2.36		1.60
1996	3.50	4.10	2.23	1.85		1.60
1997	4.35	4.80	2.85	2.63	2.86	1.90
1998	4.50	4.40	2.56	2.66		2.10
1999	4.30	4.20	2.33	2.35		2.90
2000	3.90	3.45	2.43	2.26		2.90
2001	4.50	3.75	2.65	2.37		2.27
2002	4.00	4.46	2.65	2.52		2.12
2003	4.80	4.55	2.55	2.60		2.25
2004	3.60	4.00	2.39	2.39		3.83
2005	4.55	4.00	2.48	2.83		2.17
2006	3.60	4.20	2.61	2.42		
2007	3.60	4.10	2.50	2.27		

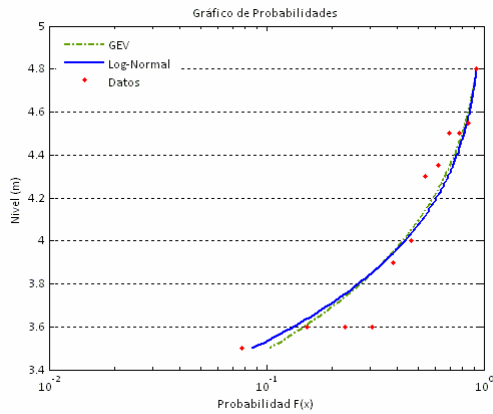
Tabla 12.- Datos de niveles máximos anuales de marea. Estos niveles están medidos respecto al cero de escala de su respectiva estación

Función de distribución

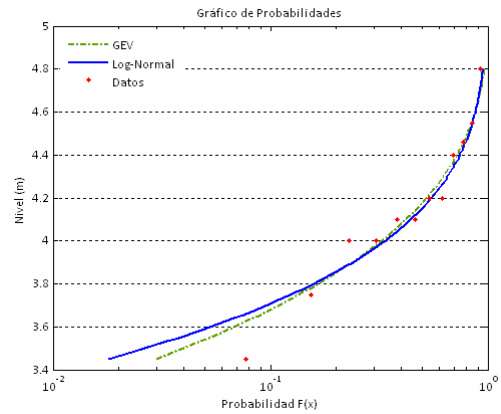
Los datos de niveles máximos anuales de marea fueron ajustados a dos funciones de distribución: La distribución GEV (Generalized Extreme Value),

ajustada mediante el método de los momentos y la distribución Log – Normal ajustada mediante el método de los momentos.

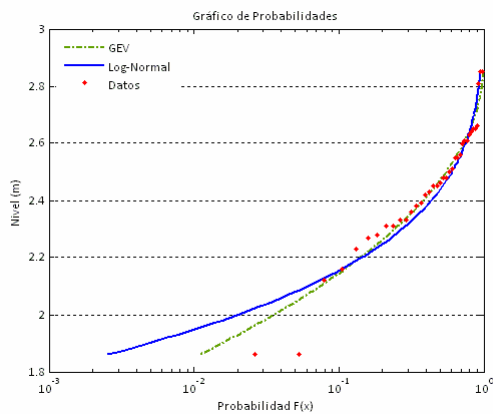
Las siguientes figuras muestran las gráficas de probabilidad para cada estación y la Tabla 13 muestra los valores de ajuste a las funciones de distribución.



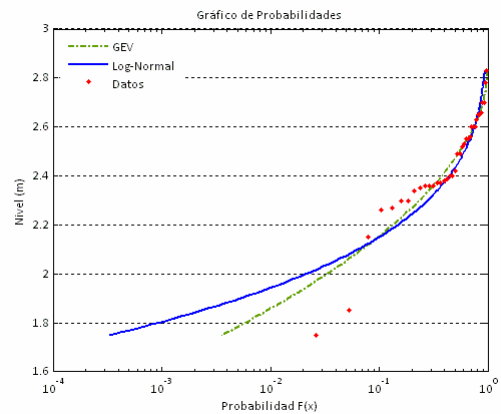
Estación 199.0 Peaje Solís



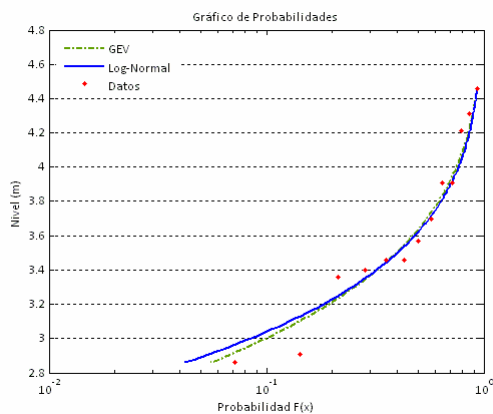
Estación 198.0 La Floresta



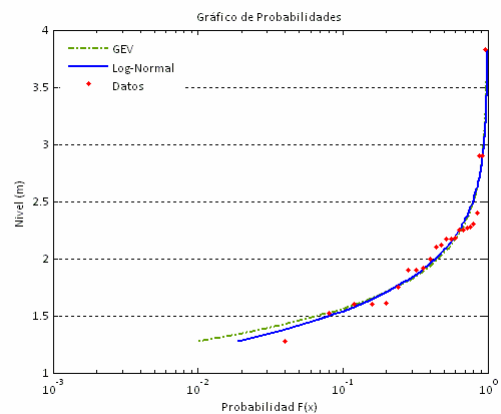
Estación 113.0 Piriápolis



Estación 83.0 Punta del Este



Estación 69.0 José Ignacio (R-10)



Estación 67.1 Laguna Garzón

Parámetro GEV	Peaje Solís	La Floresta	Piriápolis	Punta del Este	José Ignacio	Laguna Garzón
k	0.28	0.34	0.48	0.52	0.24	0.01
α	0.47	0.38	0.24	0.23	0.50	0.40
β	3.93	4.05	2.39	2.39	3.46	1.90

Parámetro Log-Normal	Peaje Solís	La Floresta	Piriápolis	Punta del Este	José Ignacio	Laguna Garzón
μ	1.41	1.42	0.89	0.89	1.29	0.73
σ	0.11	0.09	0.10	0.10	0.14	0.23

Tabla 13.- Parámetros de ajuste a GEV

Bondad de ajuste

Error cuadrático mínimo	Peaje Solís	La Floresta	Piriápolis	Punta del Este	José Ignacio	Laguna Garzón
GEV	0.40	0.26	0.28	0.38	0.33	0.80
Log-Normal	0.43	0.28	0.35	0.47	0.37	0.85

Tabla 14.- Error cuadrático mínimo

Como se puede observar en la Tabla 14, la función de distribución que presenta una mejor bondad de ajuste es la Log-Normal.

La Tabla 15 muestra los niveles medios de marea en metros (0 Oficial), obtenidos con la función Log-Normal, para 1.5, 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno para cada estación y su intervalo de confianza de 95%.

Tr (años)	Peaje Solís			La Floresta			Piriápolis		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
1.5	1.4	1.6	1.8	1.3	1.5	1.6	1.4	1.4	1.5
2	1.5	1.8	2.1	1.4	1.6	1.9	1.5	1.5	1.6
5	1.8	2.2	2.9	1.6	2.0	2.5	1.6	1.7	1.9
10	1.9	2.4	3.3	1.7	2.1	2.8	1.7	1.9	2.0
25	2.1	2.7	3.8	1.9	2.3	3.2	1.8	2.0	2.2
50	2.2	2.9	4.2	2.0	2.5	3.5	1.9	2.1	2.3
100	2.3	3.0	4.5	2.0	2.6	3.7	1.9	2.2	2.5

Tr (años)	Punta del Este			José Ignacio			Laguna Garzón		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
1.5	1.3	1.4	1.5	1.3	1.5	1.7	1.4	2.0	2.2
2	1.4	1.5	1.6	1.4	1.7	2.0	1.6	2.2	2.5
5	1.6	1.7	1.9	1.7	2.2	2.9	1.8	2.7	3.2
10	1.7	1.8	2.0	1.9	2.4	3.4	1.9	3.0	3.7
25	1.8	2.0	2.2	2.1	2.7	4.0	2.1	3.3	4.2
50	1.8	2.1	2.3	2.2	2.9	4.4	2.2	3.5	4.7
100	1.9	2.1	2.4	2.3	3.1	4.8	2.3	3.7	5.1

Tabla 15.- Niveles medios, máximos y mínimos del Intervalo de confianza de 95% obtenidos con la función Log-Normal de mejor ajuste.

4.5. Corrientes

En este Capítulo se presenta el análisis de registros de corrientes. Los datos medidos se limitan a la zona de la bahía de Maldonado y al primer tramo de costa al Este de la punta del Este y han sido obtenidos del informe IMFIA (2007): "Estudios técnicos marítimos para evaluar la alternativa de descarga en Punta del Este".

Información de base

La información de base de corrientes utilizada en este análisis está conformada por los registros directos de intensidad y dirección de corriente medidos en tres ubicaciones diferentes en la costa de Punta del Este. Dos de estos tres puntos de medición estuvieron ubicados frente a Punta de la Salina, uno a aproximadamente 3000 m de la costa (latitud $34^{\circ} 59' 28''$ S, longitud $54^{\circ} 56' 08''$ W) y otro a aproximadamente 800 m de la misma (latitud $34^{\circ} 58' 53''$ S, longitud $54^{\circ} 57' 05''$ W). El tercer punto de medición se ubicó a aproximadamente 1000 m de la costa de Punta Piedras del Chileno (latitud $34^{\circ} 55' 64''$ S, longitud $55^{\circ} 00' 86''$ W). La ubicación aproximada de los tres puntos de medición se presenta en la Figura 28.

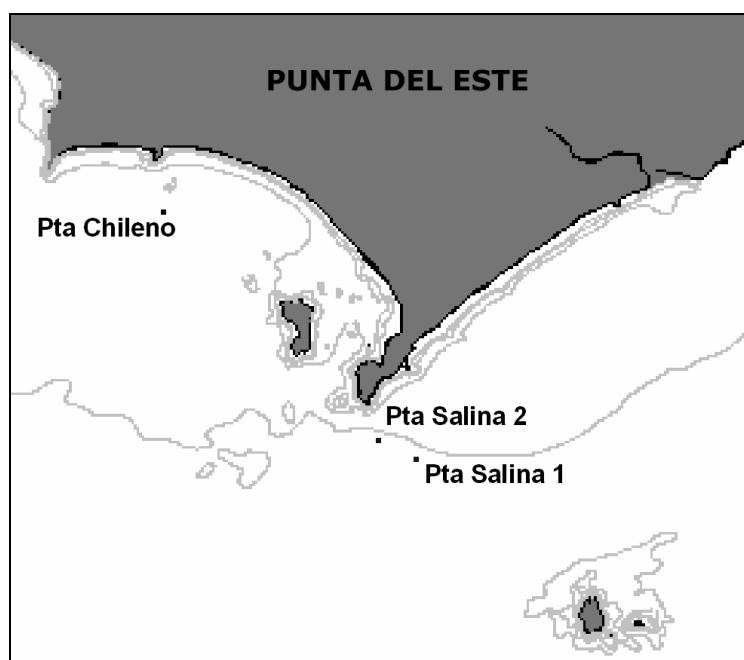


Figura 28.- Ubicación de los puntos de medición de corrientes

Las mediciones de corriente en estas tres ubicaciones fueron realizadas durante tres períodos de tiempo diferentes. Durante el período comprendido entre noviembre y diciembre de 1991 estuvo fondeado a 3 m de la superficie un correntógrafo de registro en cinta fotográfica (marca ENDECO, modelo 105) en el punto denominado Punta Salina 1. Entre diciembre de 1991 y enero de 1992, estuvo fondeado a 6 m de la superficie un correntógrafo de las mismas

características que el utilizado en la experiencia anterior, pero en el punto denominado Punta Chileno. El último trabajo de medición, y el más extenso, se realizó entre junio de 1993 y enero de 1994 frente a la costa de Punta de la Salina. Durante este período estuvieron instalados dos termocorrentógrafos de memoria sólida (marca Sensor Data, modelo SD-6000) en el punto denominado Punta Salina 2, uno a 6 m de la superficie y el otro a 3 m del fondo. Los dos modelos de correntógrafos utilizados permitieron obtener un conjunto de valores de módulo y dirección de la corriente cada 30 minutos durante los períodos de medición. En la Tabla 16 se resumen las características de estos tres puntos de medición.

Punto de medición	Distancia a la costa (m)	Profundidad (m)	Período	Nº datos
Punta Salina 1	3000	3	14/11/91 - 20/12/91	1776
Punta Salina 2 (sup)	800	6	21/06/93 - 18/01/94	8273
Punta Salina 2 (fon)	800	17	21/06/93 - 18/01/94	8273
Punta Chileno	1000	9	06/12/91 - 22/01/92	1219

Tabla 16.- Características de las series de registros de corriente analizadas

Análisis de registros

Un primer análisis de las mediciones de corriente en la costa de Punta del Este se realizó graficando los registros de corriente en un diagrama velocidad-dirección. La dirección hacia la cual se dirige la corriente está medida según la convención náutica, esto es desde el norte en sentido horario. La intención de este análisis es poder identificar rápidamente la existencia de direcciones predominantes de corriente en cada punto. También se realiza con las series de corrientes registradas un análisis de frecuencia de ocurrencia y de intensidad media por dirección.

Por otro lado, se calcularon las series astronómicas en cada uno de los puntos de medición a partir de las series registradas, de forma de caracterizar el flujo generado por las componentes principales de la marea astronómica en la zona de estudio. Estas series astronómicas fueron utilizadas además para determinar el flujo residual, calculado como la diferencia entre las corrientes registradas y las corrientes astronómicas. Para caracterizar las corrientes astronómicas y residuales en cada uno de los puntos de medición se calcularon algunos valores estadísticos básicos y se realizó también un análisis de la frecuencia de ocurrencia y de intensidad media por dirección.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con estos análisis en los tres puntos de medición.

Punta Salina 1

En la Figura 29 se presenta el diagrama dirección-intensidad de corriente obtenido para los datos medidos en el punto Punta Salina 1. En la misma se observa una acumulación de datos en torno a los 100° y 280°, que se corresponden con corrientes de flujo en las direcciones ESE y WNW

aproximadamente. Por otro lado se observan muy pocos registros alrededor de los 180° y 360° , lo que indica que en la zona de medición el flujo en la dirección Norte - Sur es casi inexistente.

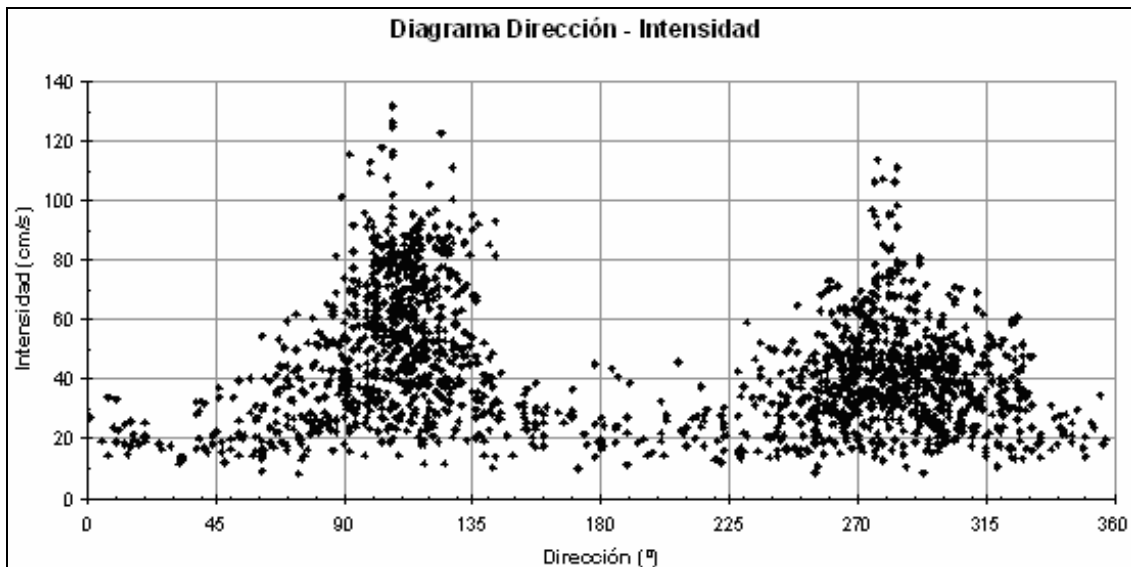


Figura 29.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Salina 1

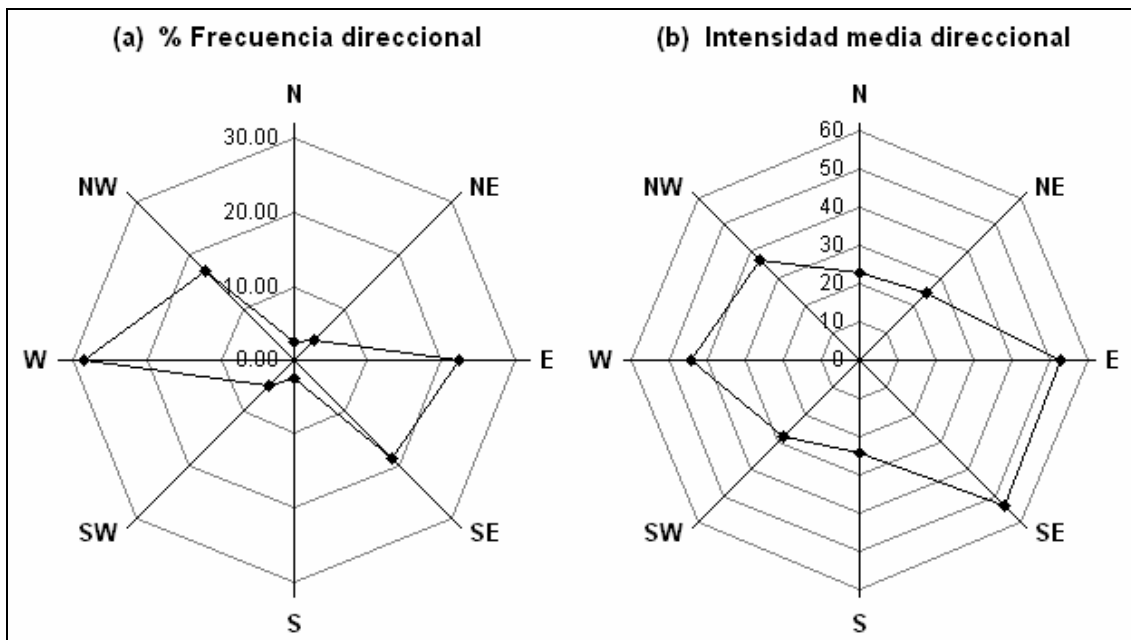


Figura 30.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Salina 1

Estos resultados se observan en la Figura 30 (a), donde se muestra la distribución de frecuencias de ocurrencia de la corriente registrada según cada dirección en este punto de medición, y donde se observa que más del 25% del tiempo la corriente se dirige hacia el Oeste y que más de un 20% del tiempo lo hace hacia el Este. Se observa además que las direcciones Noroeste y Sureste también presentan porcentajes de frecuencia considerables, casi un 20%, lo

que en definitiva indica que en esta zona ubicada a aproximadamente 3000 m de Punta de la Salina, el flujo se da principalmente por los octantes Oeste – Noroeste y Este – Sureste.

La intensidad media de los valores de corriente registrados en este punto de medición es igual a 0,44 m/s y el valor máximo en intensidad de corriente registrado durante el período de registro fue de 1,32 m/s. En la Figura 30 (b) se presenta la distribución direccional de la intensidad media de la corriente en este punto de medición, y se observa que en las direcciones Este y Sureste se dan las mayores intensidades medias del flujo, superando los 0,5 m/s.

A partir del ajuste de las componentes armónicas de la marea utilizando la corriente medida en Punta Salina 1 se calculó la serie de la corriente astronómica en dicho punto. La misma se caracteriza por una intensidad media de 0,22 m/s y un valor de intensidad máxima de 0,74 m/s durante el período analizado. La distribución de frecuencias direccional muestra un comportamiento similar al que se observa en las corrientes medidas, siendo las direcciones principales del flujo astronómico el Este, Oeste y Noroeste, y la intensidad media direccional mayor corresponde al Este con 0,28 m/s. La comparación entre las distribuciones direccionales del porcentaje de ocurrencia y de la intensidad media de la corriente registrada y astronómica se presenta en la Tabla 17. En la misma se comparan también estos resultados para la serie de corriente residual, es decir la corriente registrada menos la corriente astronómica. Esta corriente residual tiene un 30% del tiempo dirección Oeste, casi un 22% tiene dirección Este, y un 17% del tiempo dirección Sureste, y la dirección con mayor intensidad media es la Sureste, con un valor de casi 0,45 m/s.

Dirección	Frecuencia (%)			Intensidad media (cm/s)		
	Medida	Astronómica	Residual	Medida	Astronómica	Residual
N	2.4	6.8	3.3	23	10	16
NE	4.0	5.6	4.9	25	12	22
E	22.3	24.8	21.7	52	28	42
SE	18.7	17.3	17.5	54	24	44
S	2.4	2.3	4.3	24	9	20
SW	4.9	3.4	5.0	28	9	23
W	28.4	19.9	30.5	44	22	39
NW	16.9	19.9	12.8	37	24	31

Tabla 17.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en el punto de medición Punta Salina 1.

Punta Salina 2

En la Figura 31 se muestra el diagrama dirección intensidad de los datos de corrientes medidos en superficie en el punto Punta Salina 2. En la misma se observa por un lado una acumulación importante de registros entorno a los 130°, lo que indica una dirección preferencial del flujo en la dirección Sureste. Además esos valores muestran las mayores intensidades de flujo, lo que indica

que la dirección Sureste es predominante y con intensidades importantes. Por otro lado también hay una acumulación de registros entorno a los 270° lo que indica una segunda dirección preferencial de flujo en la dirección Oeste aproximadamente. Por último se observan registros de intensidades altas alrededor de los 250° .

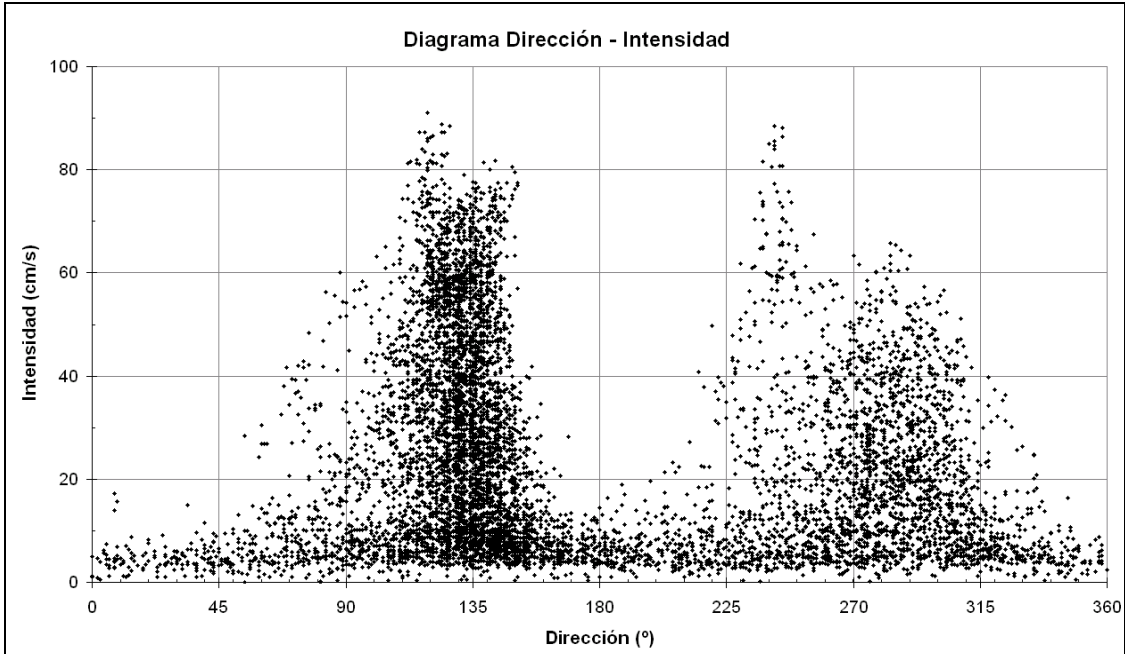


Figura 31.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Salina 2

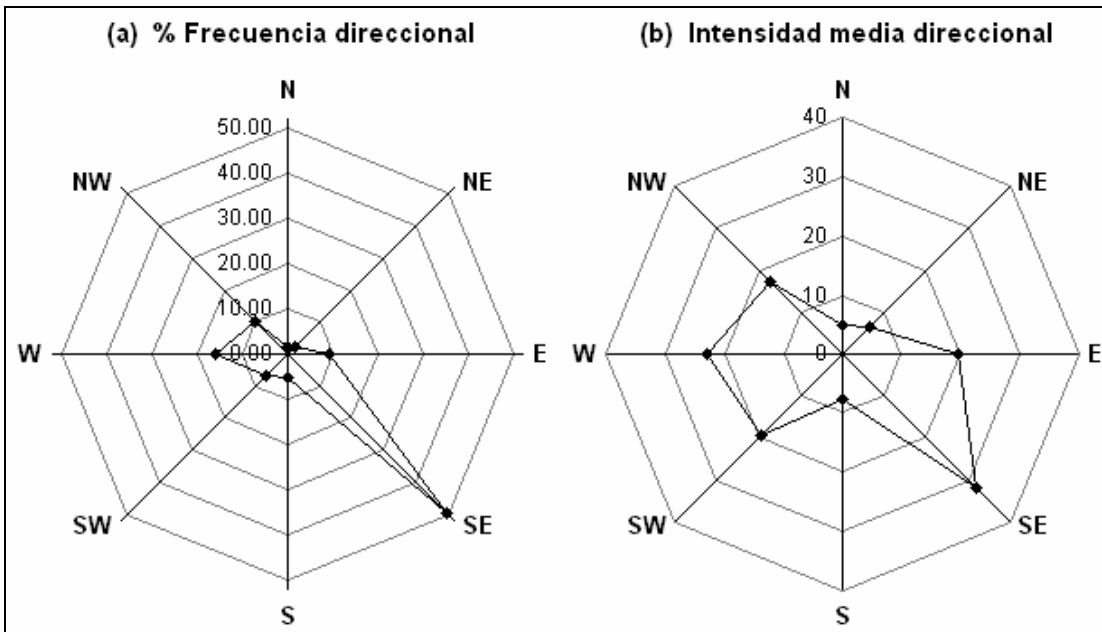


Figura 32.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Salina 2

En la Figura 32 (a) se presenta la rosa de frecuencia obtenida a partir de los registros de corriente superficiales en el punto Punta Salina 2. En la misma se observa que efectivamente casi el 50% del tiempo la corriente en este punto

tiene dirección Sureste, lo que indica que la misma es una dirección claramente predominante, ya que la dirección siguiente en mayor porcentaje de frecuencia es la dirección Oeste con una frecuencia igual a 16%. Además, la dirección Sureste tiene asociada la mayor intensidad media de flujo, superando los 0,3 m/s, como se observa en la Figura 32 (b).

La intensidad media de la serie total de corrientes superficiales en Punta Salina 2 es igual a 0,25 m/s, y la intensidad máxima es igual a 0,91 m/s. Estos valores son bastante menores a los calculados a partir de los datos medidos en Punta Salina 1, 0,44 m/s de intensidad media y 1,32 m/s de intensidad máxima. Esto se debe a que Punta Salina 2 está ubicada más cerca de la costa que el punto Punta Salina 1, donde las corrientes son mayores por ser una zona más profunda con menor influencia de la zona costera.

La corriente astronómica superficial determinada a partir de la serie medida en Punta Salina 2 tiene como direcciones principales el Noroeste con un 23% de frecuencia asociada, el Sureste con un 22%, el Este con un 20% y el Oeste con un 17%. Esta distribución por direcciones es similar a la calculada en Punta Salina 1, lo cual era de esperar debido a la cercanía de los puntos de medición. Las intensidades medias direccionales de la corriente astronómica en este punto son bajas, siendo la mayor igual a 0,12 m/s correspondiente a la dirección Sureste. La diferencia considerable que se evidencia entre las corrientes registradas y las corrientes astronómicas en Punta Salina 2 superficial indican que en la zona de este punto de medición las componentes meteorológicas son las que determinan el campo de corrientes, y no los factores astronómicos. Debido a esto la corriente residual obtenida en este punto tiene un comportamiento muy similar al comportamiento de los datos, con un flujo predominante hacia el Sureste con una intensidad media de 0,32 m/s. En la Tabla 18 se presentan los porcentajes de frecuencia y las intensidades medias direccionales calculadas para las corrientes registradas, astronómicas y residuales en Punta Salina 2 superficial.

Dirección	Frecuencia (%)			Intensidad media (cm/s)		
	Medida	Astronómica	Residual	Medida	Astronómica	Residual
N	1.7	4.8	2.1	5	4	6
NE	2.3	4.7	2.2	6	4	7
E	9.2	19.8	8.8	20	9	20
SE	49.4	21.7	45.0	32	12	32
S	5.2	4.3	7.8	8	5	11
SW	6.6	4.4	7.5	20	6	16
W	15.9	16.8	18.1	23	11	20
NW	9.7	23.4	8.5	17	12	16

Tabla 18.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en el punto de medición Punta Salina 2

En la Figura 33 se presenta el diagrama intensidad-dirección de flujo obtenido para los datos de corrientes medidos en el fondo en Punta Salina 2. En la misma se observa que la mayor cantidad de datos se concentran entorno a los 135° y 270°, lo que corresponde a las direcciones Sureste y Oeste. Entorno a

estas mismas direcciones se ubican los datos de corrientes de mayor intensidad, mientras que en el resto de las direcciones se observan escasos datos y de baja intensidad.

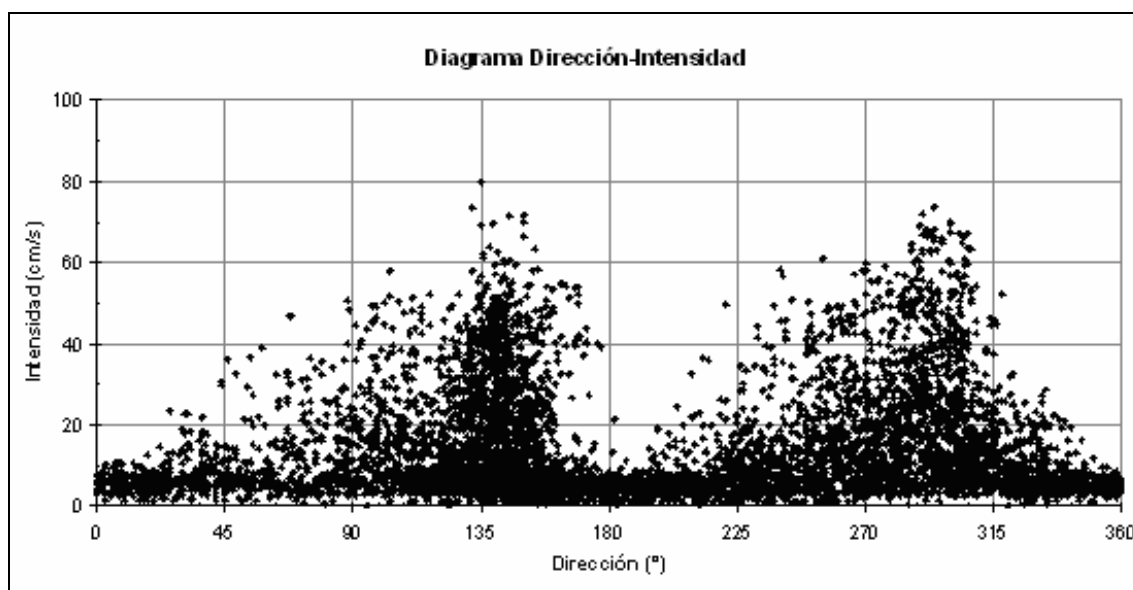


Figura 33.- Diagrama de distribución de los datos de corrientes de fondo registrados en Punta Salina 2

Al comparar estos resultados con los presentados para las corrientes superficiales en este punto de medición (Figura 31), se observa que las direcciones preferenciales del flujo se mantienen a lo largo de la vertical y que la intensidad de fondo es menor que la intensidad en superficie. Esto indica que no existe una inversión importante de flujo en la dirección vertical en la zona del punto de medición.

Por otro lado, en la Figura 34 (a) se presenta la distribución de frecuencias direccional de los registros y en la Figura 34 (b) la distribución de la intensidad media direccional de los mismos. Se observa en primer lugar que el flujo de fondo también tiene una dirección de flujo predominante, el Sureste. Sin embargo en el fondo las intensidades medias mayores, 0,20 m/s, ocurren para el flujo en la dirección Oeste, que ocurre un 13% del tiempo. La intensidad media de la serie total de las corrientes de fondo en Punta Salina 2 es igual a 0,13 m/s, y la intensidad máxima es igual a 0,80 m/s. Como era de esperar estos valores son menores a los determinados para la corriente superficial.

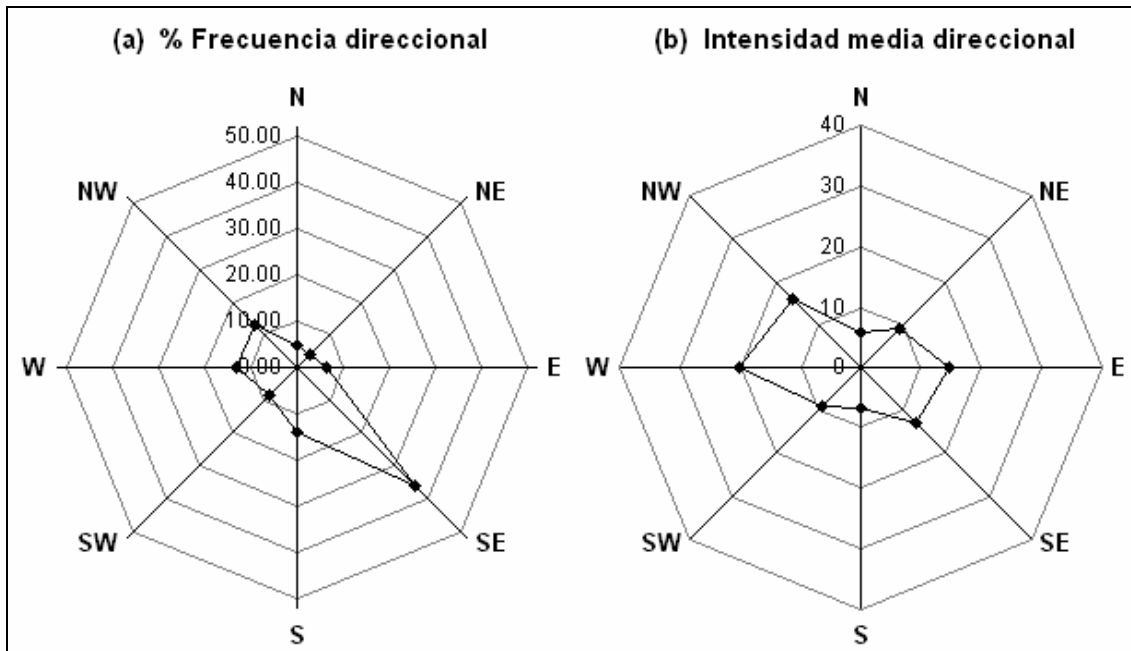


Figura 34.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente de fondo registrada en el punto de medición Punta Salina 2

En la Tabla 19 se presenta la comparación de las distribuciones direccionales de la serie de corrientes de fondo medida, astronómica y residual en Punta Salina 2. En la misma se observa que las direcciones principales de la corriente astronómica son el Sureste y el Noroeste, seguidas del Este y Oeste, es decir la distribución característica de la corriente astronómica de la zona. Por otro lado la corriente residual de fondo tiene la dirección Sureste como dirección principal pero con un porcentaje de frecuencia de un 26%. Este valor es bastante menor al porcentaje de frecuencia que dicha dirección tiene asociado en la corriente residual superficial, 45%.

Dirección	Frecuencia (%)			Intensidad media (cm/s)		
	Medida	Astronómica	Residual	Medida	Astronómica	Residual
N	4.9	7.2	3.5	6	4	5
NE	4.2	9.6	3.1	9	4	7
E	6.4	18.8	9.0	15	6	12
SE	36.1	21.4	26.2	13	8	16
S	14.1	4.4	13.0	7	4	9
SW	8.3	3.6	10.7	9	3	9
W	13.0	14.9	17.5	20	7	14
NW	13.1	20.2	16.9	16	9	13

Tabla 19.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, la serie astronómica y la serie residual en Punta Salina 2 fondo.

Punta Chileno

En la Figura 35 se presenta el diagrama dirección intensidad obtenido para los registros de corriente medidos en Punta Chileno. En la misma se observa que no se destaca claramente una dirección preferencial de flujo como se observó

para los otros puntos de medición, aunque existe una mayor acumulación de registros entorno a los 90° y a los 315° , correspondientes a flujos en las direcciones Este y Noroeste, respectivamente. Por otro lado se observa que las intensidades máximas se registran para las direcciones entorno a los 90° , es decir en la dirección Norte.

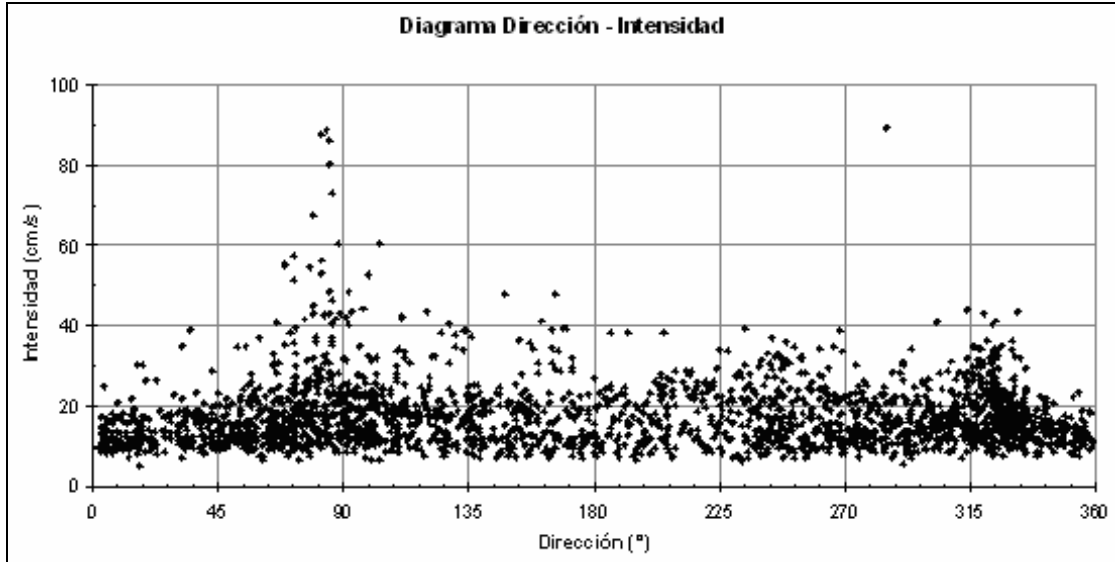


Figura 35.- Diagrama dirección intensidad de la corriente superficial registrada en Punta Chileno

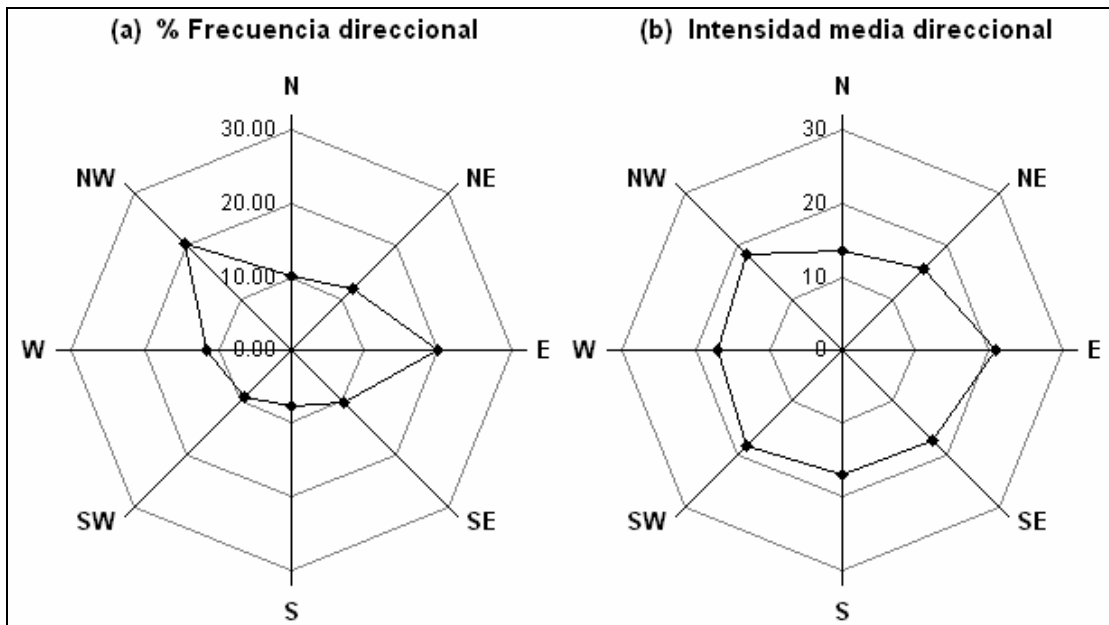


Figura 36.- Distribución direccional (a) del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y (b) de la intensidad media (cm/s) de la corriente registrada en el punto de medición Punta Chileno

En la Figura 36 se presenta la distribución direccional del porcentaje de frecuencia de ocurrencia y de la intensidad media del flujo para los registros en Punta Chileno. Se observa en la misma que la distribución por direcciones es relativamente homogénea, destacándose las dirección Este y Noroeste con porcentajes de frecuencia de 20%. Por otro lado las intensidades medias

direccionales presentan pocas variaciones por dirección, siendo la mayor para la dirección Este.

La intensidad media de la serie total de corrientes medidas en Punta Chileno es igual a 0,15 m/s, y la intensidad máxima es igual a 0,87 m/s. Estos valores son menores a los determinados para los otros puntos de medición, Punta Salina 1 y Punta Salina 2.

En la Tabla 20 se presenta la comparación entre la distribución por dirección de las corrientes registradas, astronómicas y residuales, así como también de la intensidad media por dirección en Punta Chileno. En la misma se observa que las direcciones principales del flujo astronómico son el Este y el Oeste con aproximadamente un 25% de porcentaje de frecuencia cada una. Las intensidades astronómicas medias son bajas, siendo la máxima 0,11 m/s obtenida para la dirección Este. Por último las corrientes residuales en Punta Chileno muestran que el Noroeste, Norte, Este y Noreste son las direcciones predominantes, lo cual indica un flujo residual hacia la costa.

Dirección	Frecuencia (%)			Intensidad media (cm/s)		
	Medida	Astronómica	Residual	Medida	Astronómica	Residual
N	9.9	3.4	16.8	13	5	12
NE	11.8	5.0	15.0	16	7	14
E	19.8	25.6	15.8	21	11	18
SE	9.9	10.6	8.2	17	8	16
S	7.6	7.9	9.8	17	6	14
SW	9.0	8.1	9.3	18	7	14
W	11.4	24.5	9.0	17	9	15
NW	20.6	14.9	16.2	18	10	16

Tabla 20.- Comparación de la distribución de frecuencias direccionales y de las intensidades medias direccionales calculadas para la serie registrada, astronómica y residual en el punto de medición Punta Chileno.

Síntesis

El análisis de los registros de corriente en tres puntos de medición ubicados en la zona de Punta del Este permite identificar características del flujo en la zona. Por un lado se observó que en el punto de medición ubicado a solamente 800 m de la costa frente a Punta de la Salina el flujo medido y residual predominante es en la dirección Sureste. Sin embargo en la misma zona pero a 3000 m de la costa se observa que el flujo predominante tiene dirección Oeste y Este alternadamente. Esto muestra que la alineación local de la costa de sentido Sureste en dicha zona, y su alineación con la isla Gorriti influyen sobre el flujo en la zona cercana a Punta Salina. Por otro lado en el tercer punto de medición ubicado en la zona de Punta del Chileno se destacan levemente las direcciones de flujo Este y Noroeste, lo que muestra también la influencia de la orientación de la línea de costa. En relación a las intensidades registradas se observó, como era de esperar, que el flujo en los puntos de control cercanos a la costa es menos intenso que el flujo en las zonas más profundas.

4.6. Información sedimentológica

Para la determinación de esta variable fue utilizada información proveniente del informe de Conservación y Mejora de Playas y de un relevamiento realizado en el marco de este convenio en las playas de Solís y Piriápolis. En este capítulo se presentan características granulométricas de los sedimentos de las playas Solís, Piriápolis, Sauce de Portezuelo, Las Delicias, San Rafael y José Ignacio.

En la Tabla 21 se presentan los principales parámetros granulométricos obtenidos a partir de la información del informe Conservación y Mejora de Playas.

	Piriápolis	Sauce de Portezuelo	Las Delicias	San Rafael	José Ignacio
d_{50}	0.22	0.68	0.71	0.40	0.80
d_{90}	0.37	1.10	1.10	0.90	1.93
S_o	1.27	1.33	1.34	1.60	1.44

Tabla 21.- Características sedimentológicas de las distintas playas consideradas

Siendo d_{50} el percentil 50 (mm), d_{90} el percentil 90 (mm), y S_o el índice de Trask. El índice de Trask o coeficiente de selección es calculado por la siguiente formulación:

$$S_o = (d_{75}/d_{25})^{1/2}$$

El índice de Trask permite clasificar la selección de los materiales granulares según se presenta en la Tabla 22.

S_o	Selección
>1.17	Muy buena
1.17 – 1.20	Buena
1.20 – 1.35	Moderadamente buena
1.35 – 1.87	Moderada
1.87 – 2.75	Pobre
<2.75	Mala

Tabla 22.- Índice de Trask (1950)

Con el objetivo de realizar los estudios particulares sobre los tramos de costa de Solís y Piriápolis se realizó una recopilación de información sedimentológica complementaria. Se recopilaron 20 muestras bajo agua (batimétrica 2 y 5) y 14 en tierra en Solís y 2 bajo agua en Piriápolis. Los puntos de extracción de muestra en la playa Solís se indican en la Figura 37 y se incluyen en el SIG implementado.

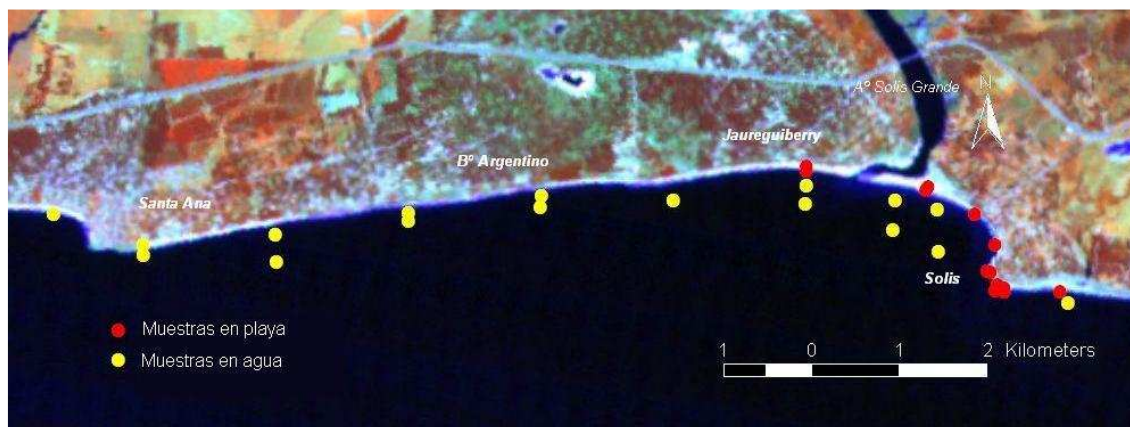


Figura 37.- Ubicación de los puntos en que se tomaron muestras de material de fondo y de la playa en el tramo Solís

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio INSUELOS, obteniendo así las curvas granulométricas de cada una. Los resultados en detalle se presentan en el informe IMFIA (2008) "Estudio de la Zona costera del balneario Solís".

En la Tabla 23 se presentan los principales parámetros granulométricos resultantes.

	Solís playa	Solís (2m)	Solís (5m)	Piriápolis (2m)	Piriápolis (5m)
d_{50}	0.30	0.22	0.22	0.21	3.00
d_{90}	0.95	0.31	1.30	0.30	-
S_o	1.45	1.20	1.24	1.21	-

Tabla 23.- Características sedimentológicas de las muestras realizadas

En la Figura 38 se presenta el resumen de las principales características granulométricas de las playas Solís, Piriápolis, Sauce de Portezuelo, Las Delicias, San Rafael y José Ignacio.

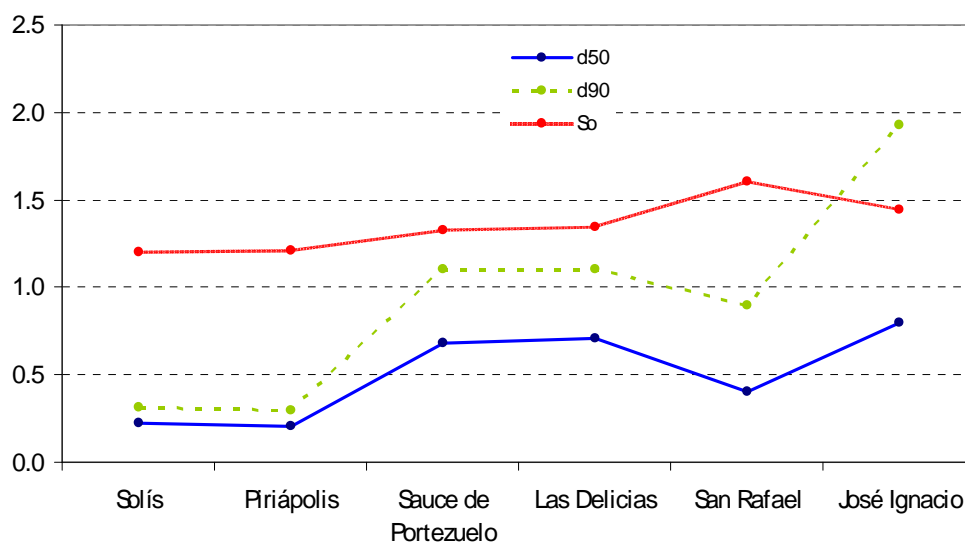


Figura 38.- Principales características granulométricas de las playas consideradas.

A continuación se explicitan las observaciones que se desprenden de la caracterización granulométrica del material de las playas:

- Los tamaños medios (d_{50}) presentan una tendencia creciente desde el Oeste hacia el Este.
- El valor del percentil 90 (d_{90}) caracteriza el tamaño de la fracción más gruesa, la cual presenta una tendencia creciente del Oeste al Este.
- Todas las arenas de las playas consideradas presentan una selección entre Moderada y Moderadamente Buena según la clasificación propuesta por Trask.

Estas observaciones evidencian la respuesta de la playa a la energía incidente del oleaje. En efecto los módulos de las energías de oleaje calculados crecen a medida que nos desplazamos hacia el este.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA COSTA

Se presenta en este capítulo la caracterización de la costa de la zona de estudio en diferentes escalas temporales. Este análisis se ha utilizado como base del diagnóstico de los procesos actualmente en desarrollo.

Por caracterización de la costa en escala temporal de **largo plazo** debe entenderse la comprensión de los procesos y tendencias que han modelado la costa a lo largo de cientos e incluso miles de años. Esta caracterización es la base sobre la cual se establecen las fuerzas predominantes que han conformado la costa y presumiblemente permanecen activas, determinado las tendencias de evolución futura de la costa.

La escala temporal de **mediano plazo** se refiere a los procesos de orden anual que condicionan la evolución de la costa y se vinculan con las principales variables dinámicas y sedimentológicas presentes (olas, mareas, vientos, corrientes, etc.).

La escala temporal de **corto plazo** comprende los procesos vinculados a un evento de tormenta y se extiende por algunas horas.

En esta caracterización se han realizado los análisis de evolución de la costa a largo y mediano plazo.

5.1. Tramos de costa analizados

Para la realización de los análisis de distintas escalas se ha dividido la costa de departamento de Maldonado en siete subsistemas. Los subsistemas considerados se presentan en la Figura 39 y en la Tabla 24.



Figura 39.- Subsistemas considerados en los análisis de distinta escala temporal

Tramo	Sistema
1	Solís
2	Playa Bella Vista – Playa Hermosa
3	Piriápolis
4	Punta Imán – Punta Negra
5	Punta Negra – Punta Ballena
6	Punta Ballena – Punta del Este
7	Punta del Este – Laguna José Ignacio

Tabla 24.- Subsistemas considerados en los análisis de distinta escala temporal

5.2. Estudio de largo plazo

El estudio a largo plazo de la forma en planta de un tramo de costa procura determinar la tendencia evolutiva de la misma en escala de varios años o decenas de años.

Una playa ha alcanzado su forma de equilibrio en planta cuando ésta no varía a lo largo del tiempo. La playa se encuentra en equilibrio estático, cuando el transporte de sedimentos que se produce a lo largo de ella, considerando la acción energética media del oleaje, es nulo. Naturalmente ello no implica que en plazos de menor duración no haya transporte litoral de sedimentos, ya que al actuar oleajes de diferentes direcciones, no perpendiculares a la línea de costa, el sedimento se pondrá en movimiento en dirección longitudinal a la playa. Se trata en cambio de que en términos netos, a lo largo de un año o de períodos aún mayores, el balance de transporte de sedimentos es nulo.

La forma en planta de una playa no responde a los cambios de corto plazo de la dirección del oleaje sino que tiende a alcanzar una posición de equilibrio con relación a las condiciones energéticas medias del oleaje que actúa sobre ella.

El estudio de largo plazo incluye para los distintos tramos de costa considerados:

- el análisis de la resultante de la energía de oleaje respecto a la orientación de la línea de costa
- la determinación de la ubicación de la línea de costa dado por el equilibrio estático
- consideraciones geológicas sobre la evolución de la costa a largo plazo

Dirección de la resultante de la energía del oleaje incidente y orientación de la línea de costa

La forma en planta de una playa no responde a los cambios de corto plazo de la dirección del oleaje sino que tiende a alcanzar una posición de equilibrio con relación a las condiciones energéticas medias del oleaje que actúa sobre ella.

Las direcciones de las resultantes de la energía del oleaje en los distintos puntos de la costa de Maldonado se presente en la Figura 40.



Figura 40.- Dirección del flujo medio anual de energía dado por el clima de olas

Al observar los resultados de la dirección de las resultantes de la energía del oleaje en todas las boyas se confirma la caracterización antes explicitada, en cuanto a la existencia de tres zonas: zona "atlántica", zona "estuario" y zona de "transición".

La zona "atlántica" parece claro que el transporte litoral neto de sedimentos es mínimo debido a que la dirección de la resultante de la energía se presenta prácticamente perpendicular a la dirección de la línea de costa. Por lo tanto, se confirma que este tramo de costa se encuentra en una situación de equilibrio. Lo mismo se observa para el tramo recto denominado Potrero en la figura anterior.

Curva de equilibrio en planta

Cuando una playa se encuentra limitada en sus extremos por contornos naturales o artificiales que impiden el transporte de sedimentos, se denomina playa encajada. En estos casos, considerando la dirección del flujo medio de energía del oleaje, el obstáculo que primero encuentra el frente de olas de esa dirección, se denomina punto de control superior de la playa. Se ha encontrado que las playas encajadas en situación de equilibrio adquieren una forma en planta curvilínea (denominada de medio corazón) determinada por la dirección con la que el oleaje llega a la costa, una vez que es difractado por el punto de control.

El método de la parábola de equilibrio fue establecido por Hsu y Evans y es uno de los métodos actualmente más aceptados como herramienta de predicción de la forma de equilibrio estático de una playa. Constituye por tanto una manera de evaluar la situación de un tramo de costa a largo plazo. Según este método si se consideran las zonas fijas en la costa (cabos o puntas rocosas o extremos de escolleras o diques), y la dirección de la resultante de la

energía de las olas, la forma de equilibrio estático de la playa responde a la ecuación de una parábola, cuya zona de mayor curvatura es adyacente al punto de control superior, y producto de la difracción del oleaje incidente en el mismo.

En este estudio para el análisis de la forma en planta se aplicó el método de la parábola de equilibrio, empleándose para ello el programa denominado Sistema de Modelado Costero (**SMC**¹).

Como quedó establecido, la parábola de equilibrio determina la curva de equilibrio estático de la costa; es decir la curva a la cual tendería la costa en caso de que el transporte de sedimentos en el tramo fuera nulo. En ese sentido debe entenderse como un indicador de la tendencia potencial de la costa.

A continuación se presenta el análisis de las curvas de equilibrio de cada uno de los tramos considerados.

Tramo 1.- Solís

Se procedió a analizar el tramo de costa situado entre la punta Animas (balneario Solís) y la punta Piedra de Afilar (balneario Cuchilla Alta). Este tramo de costa tiene la forma de un arco que se encuentra controlada por la presencia de la punta rocosa (punta Ánimas) y la difracción del oleaje que ésta produce. Por otra parte la presencia de la desembocadura del arroyo Solís Grande también condiciona en alguna medida la forma de este tramo de costa.

Se consideró que el punto duro o de difracción del oleaje incidente es la punta Animas, que la resultante de energía del oleaje incidente tiene dirección aproximadamente SSE (S15E) y la forma en planta implementada corresponde a la de la Parábola de Hsu.

Tal como se aprecia en la Figura 41 la conformación actual de la costa al este del balneario Pueblo Suizo (ubicado aproximadamente a 3 km al oeste de la desembocadura del arroyo Solís Grande) se encuentra significativamente alejada hacia el lado del mar de la hipotética condición de equilibrio estático, mientras que en el tramo de costa situado al oeste, la curva de equilibrio estático coincide con la parábola de equilibrio, lo que muestra una situación muy cercana al equilibrio estático.

¹ El Sistema de Modelado Costero, SMC, es un conjunto de herramientas numéricas de distribución gratuita desarrolladas por la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente de España y la Universidad de Cantabria, con el objetivo de posibilitar un mejor diseño, ejecución y seguimiento de las actuaciones a realizar para la preservación del medio ambiente litoral.



Figura 41.- Parábola de equilibrio del tramo 1 (Solís).

En términos generales puede decirse que todo el arco de playa que conforman los balnearios Solís y Jaureguiberry, área de influencia de la desembocadura del arroyo Solís Grande, es una zona notoriamente alejada de la posición de equilibrio estático.

La conclusión de la constatación del párrafo anterior es que, o bien se está en una situación de equilibrio dinámico, o bien ante un proceso de retroceso de la línea de costa. El equilibrio dinámico se presenta cuando el material que es sacado del sistema por la acción de las olas incidiendo en dirección oblicua a buena parte de la costa, es compensado por el material que ingresa al sistema. Las potenciales fuentes de ingreso de material son: las propias olas desde tramos contiguos, el aporte fluvial y el aporte eólico.

La información existente acerca de los procesos en desarrollo, muestra que existe en esta zona una tendencia al retroceso.

Por otra parte, se concluye entonces a partir de este análisis, que el tramo de costa correspondiente a los balnearios Pueblo Suizo, Balneario Argentino, Santa Ana y Cuchilla Alta se encuentra en una situación de equilibrio, muy cercano al equilibrio estático. Es decir que se trata de una costa en la cual se ha establecido una situación de equilibrio entre las principales forzantes físicas que actúan sobre la costa y la forma que ha adquirido la misma. En particular, la forzante de mayor incidencia en relación a la forma de la costa es el oleaje.

El análisis en detalle en cuanto a la estabilidad a largo plazo de este tramo de costa se presenta en el informe IMFIA (2008) "Estudio de la Zona costera del balneario Solís".

Tramo 2.- Playa Bella Vista – Playa Hermosa

El tramo de costa entre playa Bella Vista y playa Hermosa, que se ilustra en la Figura 42, no puede ser considerado como una playa encajada ya que las salientes rocosas que limitan el arco no lo hacen hasta profundidades suficientes como para limitar el transporte de sedimentos desde y hacia fuera del arco.

Al abordar el análisis a largo plazo de éste tramo la característica mencionado dificulta la aplicación del método de la parábola de equilibrio. Por lo tanto, no se realiza el análisis de la parábola de equilibrio para este tramo de costa. El estudio de la evolución a largo plazo de este tramo se realiza a partir del análisis de la dirección de la resultante de la energía del olaje y la dirección de la línea de costa, complementado con consideraciones geológicas. Estos análisis indican que existiría una tendencia erosiva del tramo de costa ya que la resultante de la energía no es perpendicular a la línea de costa.



Figura 42.- Parábola de equilibrio del tramo 2 (Playa Bella Vista – Playa Hermosa).

Tramo 3.- Piriápolis

En este punto se presenta el análisis del tramo de costa situado entre punta de los Burros y punta Imán (ver Figura 43) en su situación actual. Si bien este arco puede considerarse una playa encajada, la presencia del puerto de Piriápolis y la punta Imán dificultan la interpretación de los resultados del método de la parábola de equilibrio, ya que si bien la mayor parte del tramo es controlado por

el puerto y la difracción del oleaje en ella, la parte situada más al Oeste queda gobernada por la punta Imán.

Se consideraron dos puntos duros o de difracción del oleaje incidente que son el puerto y la punta Imán. La resultante de energía del oleaje incidente tiene dirección aproximadamente SSE ($S18^{\circ}E$). Tal como se aprecia en la Figura 43 la curva de equilibrio estático coincide, en el tramo inicial, con el perfil teórico correspondiente al punto duro ubicado en el puerto, mientras que el tramo final se corresponde con la parábola de equilibrio dado por el punto duro ubicado en la punta Imán. Existe cierta tendencia al retroceso en la mitad del arco de playa.



Figura 43.- Parábola de equilibrio del tramo 3 (Piriápolis). Se muestra la dirección de la resultante de energía del oleaje y la curva de equilibrio estático teniendo en cuenta como punto de control el puerto de Piriápolis y la punta Imán.

Se concluye entonces a partir de este análisis, que el tramo de costa comprendido entre punta de los Burros y punta Imán se encuentra en una situación de equilibrio, muy cercano al equilibrio estático, a menos de la parte central del arco donde existe cierta tendencia al retroceso. La presencia del puerto parece ser la responsable de la estabilidad del tramo más al Este del arco.

El estudio en detalle de este tramo de costa y su problemática será abordado posterior a la entrega de este informe.

Tramo 4.- Punta Imán – Punta Negra

En la Figura 44 se presenta las curvas de equilibrio para el tramo comprendido entre punta Imán y punta Negra. Este tramo presenta dos playas encajadas, donde la punta Colorada (ubicada al centro) modela el arco de playa dado por la propia punta Colorada y punta Imán (ubicada al oeste), mientras que la punta Negra (ubicada al este) funciona como punto duro para el arco entre la propia punta Negra y punta Colorada.

En el análisis de las curvas de equilibrio se ha considerado estas puntas como puntos de difracción para los respectivos tramos de costas y la resultante de energía del oleaje incidente con dirección aproximadamente SSE (S18E).



Figura 44.- Parábola de equilibrio del tramo 4 (Punta Imán – Punta Negra). Se muestra la dirección de la resultante de energía del oleaje y la curva de equilibrio estático teniendo en cuenta los puntos de control considerados.

La línea de costa en este tramo se encuentra alejada de la condición de equilibrio estático. En el arco Oeste (punta Imán – punta Colorada) el retroceso se observa en prácticamente todo la playa, mientras que en el arco Este (punta Colorada – punta Negra) el retroceso se observa en el extremo este del arco.

La conclusión de la constatación del párrafo anterior es que, o bien se está en una situación de equilibrio dinámico, o bien ante un proceso de retroceso de la línea de costa.

La información directa obtenida en la zona, muestra que en los extremos este de cada uno de los tramos existe una tendencia al retroceso. La Figura 45 ilustra esta evidencia, dada por la erosión de la barranca y el déficit de arena en la playa, en el extremo este del arco dado por punta Imán y punta Colorada.



Figura 45.- Erosión de la barranca y la playa que evidencia el retroceso de la línea de costa en el extremo este del arco entre punta Imán y punta Colorada.

Tramo 5.- Punta Negra – Punta Ballena

Para el análisis del tramo de costa entre punta Negra y punta Ballena se consideró la punta Ballena como punto de difracción. La resultante de energía del oleaje incidente tiene dirección aproximadamente SSE ($S18^{\circ}E$). El resultado comparativo de la curva teórica y la configuración actual de la costa se presenta en la Figura 46.



Figura 46.- Parábola de equilibrio del tramo 5 (Punta Negra – Punta Ballena).

Del resultado mostrado se desprende que la conformación actual de la costa, a excepción del tramo oeste, se encuentra significativamente alejada hacia el lado del mar de la hipotética condición de equilibrio estático.

Tramo 6.- Punta Ballena – Punta del Este

Se procedió a analizar el tramo de costa situado entre punta del Este y punta Ballena en su situación actual. Si bien la bahía de Maldonado es claramente una playa encajada, la presencia de la isla Gorriti, de la punta del Este y, en menor medida de la punta del Chileno, dificultan el empleo del método de la parábola de equilibrio. Si bien la mayor parte del tramo es controlado en su forma por la isla Gorriti y la difracción del oleaje en ella, la parte situada más al Este queda protegida por la punta del Este. En el tramo situado al Oeste de la punta del Chileno, la presencia de ésta también condiciona en alguna medida la forma de ese último arco.

Se consideró en primer lugar que el punto duro o de difracción del oleaje incidente es la isla Gorriti y que la resultante de energía del oleaje incidente tiene dirección aproximadamente S (S6°E). Tal como se aprecia en la Figura 47 la curva de equilibrio estático coincide, salvo en su tramo inicial, con el perfil teórico correspondiente a la parábola de equilibrio lo que muestra una situación muy cercana al equilibrio estático. La diferencia en la parte inicial de la curva se debe a la presencia de la punta del Este, que actúa como punto de difracción para el tramo inicial, como se muestra en la Figura 48. En la Figura 49 se muestra el arco comprendido entre punta del Chileno y punta Ballena, que también controla, en parte este último tramo.



Figura 47.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la isla Gorriti. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.



Figura 48.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la punta del Este. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.



Figura 49.- Parábola de equilibrio para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este) controlado por la punta del Chileno. Se muestra el frente de oleaje de la dirección de la resultante de energía y la curva de equilibrio estático.

Las figuras presentadas muestran la coincidencia casi total de las curvas de equilibrio estático con la posición actual de la costa en la bahía de Maldonado. Se concluye entonces a partir de este análisis, que el tramo de costa comprendido entre la punta del Este y la punta Ballena se encuentra en una situación de equilibrio, muy cercano al equilibrio estático. Es decir que se trata de una costa en la cual se ha establecido una situación de equilibrio entre los principales forzantes físicos que actúan sobre la costa, principalmente el oleaje, y la forma que ha adquirido la misma.

El análisis en detalle en cuanto a la estabilidad a largo plazo de este tramo de costa se presenta en el informe IMFIA (2008) "Afectaciones sobre la costa del puerto proyectado en Punta del Chileno".

Tramo 7.- Punta del Este – Laguna José Ignacio

El tramo de costa entre punta del Este y Laguna José Ignacio, presentada en la Figura 50, es un tramo de costa recto y homogéneo, con la única perturbación de las desembocaduras del arroyo Maldonado, las lagunas José Ignacio y Garzón y la punta de José Ignacio.



Figura 50.- Parábola de equilibrio del tramo 7 (Punta del Este – Laguna José Ignacio).

Debido a estas características, en particular al no presentarse como un arco de playa encajado, no corresponde aplicar el método de la curva de equilibrio para analizar la evolución del tramo de costa a largo plazo.

El estudio de la evolución a largo plazo de este tramo se realiza a partir análisis de la dirección de la resultante de la energía del olaje y la dirección de la línea de costa, complementado con consideraciones geológicas. Estos análisis se presentan más adelante.

Consideraciones geológicas

En este punto se realizan consideraciones geológicas respecto al tramo de costa atlántico del departamento de Maldonado. Las consideraciones que aquí se presentan se extrajeron del trabajo presentado por Teixeira et al (1999) "Littoral Processes in a Prograding Coast: the Case Study of the Atlantic Ocean Coast of Uruguay".

El tramo "Atlántico" de la costa del departamento de Maldonado es parte de la costa atlántica uruguaya. La extensión de la costa atlántica uruguaya alcanza los 220 km desde Punta del Este, límite exterior del Río de la Plata, hasta la frontera uruguaya con Brasil. El estudio realizado por Teixeira et al (1999) refiere al tramo de 80 km de costa, que va desde Punta del Este hasta el Cabo

Santa María (La Paloma). Este tramo de costa es un tramo homogéneo y prácticamente recto, orientado perpendicular a la dirección SSE. La costa atlántica del departamento de Maldonado es parte importante de este tramo y por eso es pertinente incluir este análisis como parte de la caracterización de ese tramo.

Es bien sabido que los **cambios relativos del nivel del mar** son el resultado del balance entre los cambios isostáticos, determinado por la actividad tectónica, y los eustáticos o modificaciones del nivel del mar debido a la evolución del volumen de agua del océano o la capacidad de las cuencas oceánicas.

En toda la comunidad científica se acepta que el nivel eustático ha crecido en los últimos 5000 años. Entre los años 5000 y 3000 AC hubo un crecimiento de 20 a 30 cm cada 1000 años, y durante los últimos 3000 años el nivel del mar ha crecido con una tasa más baja e incluso ha experimentado periodos oscilantes. En términos medios se puede decir que el nivel eustático durante los últimos 5000 años ha ido creciendo con una tasa de 0,01 cm por año.

En el tramo atlántico de la costa del departamento de Maldonado existe evidencia de que durante la última trasgresión holocénica el nivel del mar experimentó crecimientos que alcanzan los +5 m con respecto al nivel del mar de la actualidad.

Como se detalla en el párrafo siguiente, desde aquellos días hasta el presente, se ha producido una disminución relativa del nivel del mar hasta alcanzar el nivel actual. Esto implica que durante los últimos 5000 años, la tasa de variación isostática fue mayor que la tasa de crecimiento eustática

A continuación se presenta la verificación de que se ha producido el **descenso relativo del nivel del mar** de este tramo de costa y por tanto se trata de un tramo de costa progradante.

Martin y Suguio (1989) determinaron una curva de la fluctuación del nivel del mar en el período holocénico, para tres zonas diferentes de Brasil. Esta curva establece un aumento del nivel relativo del mar hasta una máxima transgresión en el año 5000 AC, luego muestra una regresión hasta el año 4000 AC y sucesivas variaciones del nivel hasta alcanzar el nivel actual, con una tasa negativa de 1 mm por año. Por otra parte, Bracco y Ures (1997) (1998) a través de la técnica del C14 aplicada a muestras de moluscos confirmaron la evolución presentada por Martin y Suguio. Esta sucesión se presenta en la Figura 51.

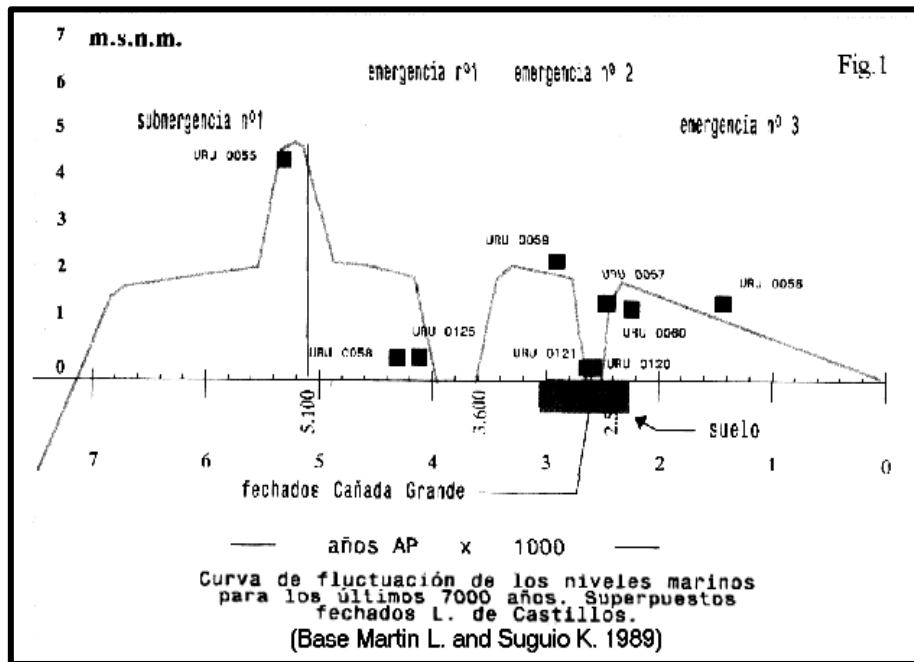


Figura 51.- Fluctuación del nivel del mar y dataciones de muestras de moluscos con C14.

Además, datos gravimétricos muestran la presencia de una fuerte anomalía en la zona. La interpretación de estos datos apoyan la hipótesis de un aumento isostático para el tramo SE de la costa uruguaya.

Lo dicho anteriormente junto con las características de la costa del este de Maldonado donde pueden observarse diferentes paleocostas, puede establecerse la hipótesis de que el nivel relativo del mar, para este tramo de costa, se encuentra en descenso, con una tasa media de 1 mm por año. Este hecho permite prever en términos geológicos una progresión de la línea de costa en líneas paralelas a la actual y perpendicular a la dirección de la resultante de la energía del oleaje.

5.3. Estudio de mediano plazo

Como fue mencionado, la escala temporal de mediano plazo se refiere a los procesos de orden anual que condicionan la evolución de la costa y se vinculan con las principales variables dinámicas y sedimentológicas presentes (olas, mareas, vientos, corrientes, etc.).

A partir de la superposición de las fotos aéreas de los distintos años: 1966, 1980 y la fotos satelitales de 2007 se evaluó la evolución histórica que ha experimentado la línea de costa en todo el departamento de Maldonado. En la Figura 52 se presentan los mosaicos de las fotos aéreas de toda la costa de Maldonado realizado para el análisis de evolución de mediano plazo.

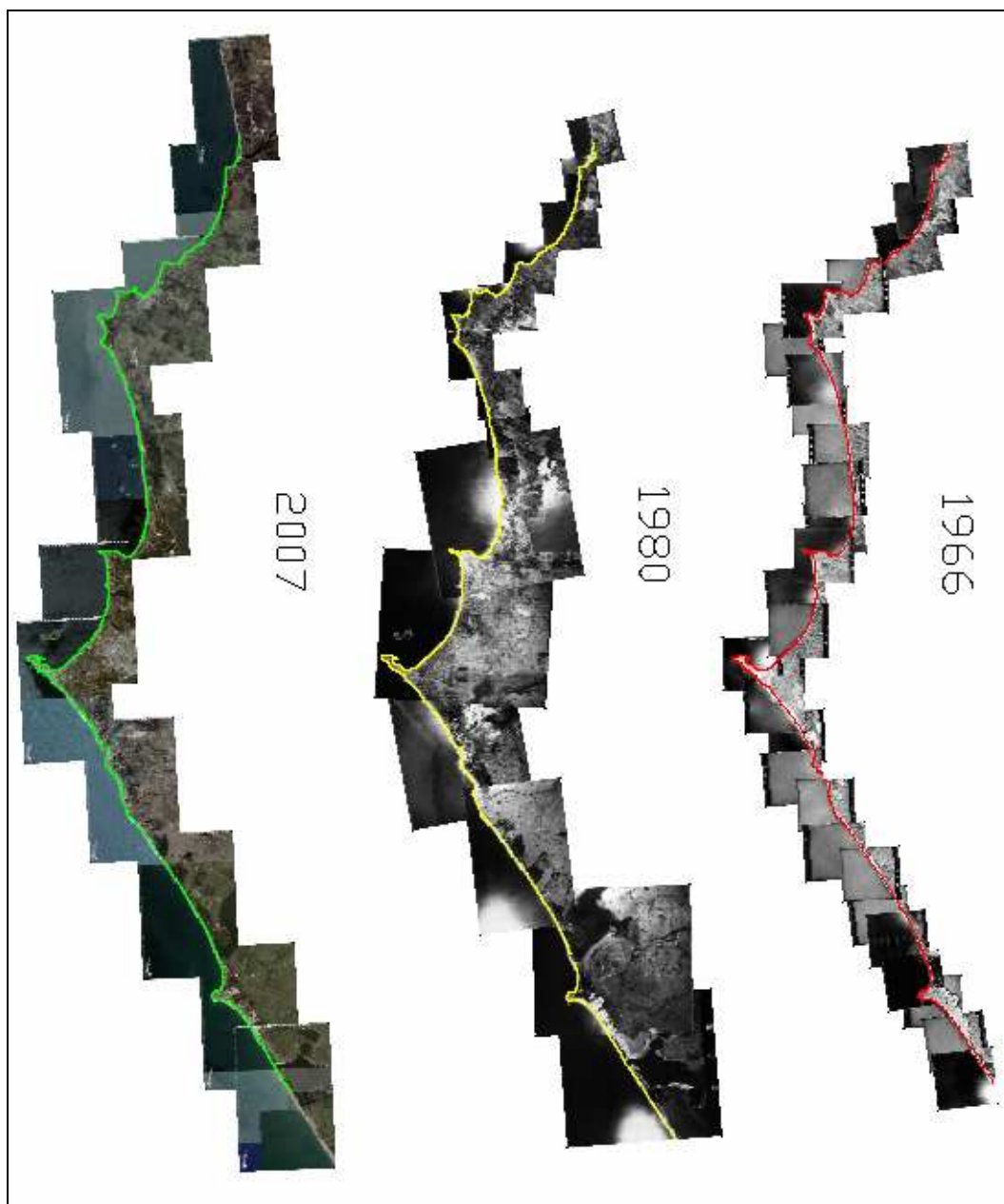


Figura 52.- Superposición de fotos aéreas para el análisis de evolución de la línea de costa en todo el departamento de Maldonado.

A continuación se presentan los resultados de dichos registros para cada uno de los tramos analizados.

Tramo 1.- Solís

El análisis del Tramo 1 corresponde a la observación de la evolución histórica que ha experimentado la línea de barrancas en todo el tramo de costa del balneario Solís. Un análisis más detallado se presenta en el Informe IMFIA (2008) "Estudio de la Zona Costera del Balneario Solís".

En la Figura 53 se presenta la ubicación de las líneas de costa a partir de la información recabada de las fotos aéreas de los años 1966, 1980 y 2007 para este tramo.



Figura 53.- Evolución de la línea de costa en el tramo 1 (Solís). Año 1980 (verde). Año 2007 (rojo y foto).

Los registros fotográficos no muestran un claro retroceso de la barranca previo al año 1980.

En la zona de la playa del Hotel Alción entre los años 1980 y 2007 se registra un retroceso de la barranca estimado en 25 m. En la zona de la bajada de botes, se observa un retroceso mayor al registrado en todo el tramo. El retroceso registrado entre los años 1980 y 2007 es de aproximadamente 35 m.

Por lo tanto, es posible afirmar que el retroceso de la barranca en este tramo de costa se ha registrado de manera intensa a partir del año 1980. La tasa de retroceso media en todo el tramo puede estimarse entre 1 y 2 metros por año.

Tramo 2.- Playa Bella Vista – Playa Hermosa

En la Figura 54 se presenta la ubicación de las líneas de costa a partir de la información recabada de las fotos aéreas de los años 1966, 1980 y 2007 para este tramo.



Figura 54.- Evolución de la línea de costa en el tramo 2 (Playa Bella Vista – Playa Hermosa). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (foto y verde).

Los registros fotográficos no muestran un claro retroceso o avance a nivel general de este tramo de costa desde 1966 a la actualidad. A excepción de la zona de la playa Verde donde se observa un retroceso estimado en 0.5 m/año. La longitud del tramo en retroceso es de 300m y se encuentra indicada con un círculo blanco en la figura respectiva.

Tramo 3.- Piriápolis

En la Figura 55 se presenta la ubicación de las líneas de costa para el tramo 3 (Piriápolis), de los años 1966, 1980 y 2007.

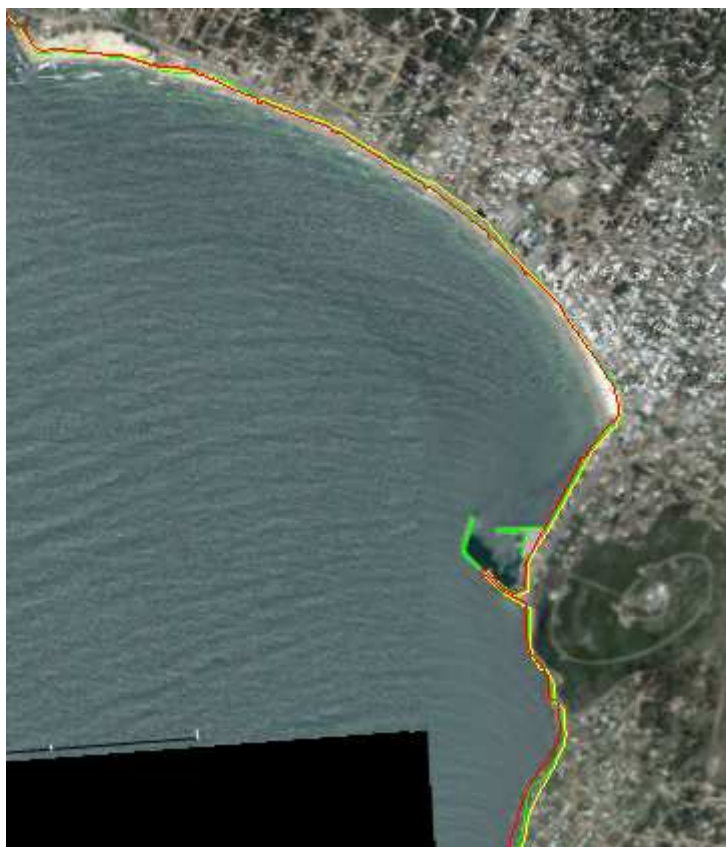


Figura 55.- Evolución de la línea de costa en el tramo 3 (Piriápolis). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)

El análisis de largo plazo muestra coincidencia entre la curva de equilibrio y la línea de costa. Por tanto en este tramo de costa no parece existir tendencia a la erosión a largo plazo.

Sin embargo es evidente la pérdida de playa en el sector central desde hace más de 60 años. Las razones de este proceso erosivo deben atribuirse a intervenciones antrópicas, entre las cuales seguramente la más importante sea la construcción del muro costanero por delante de la duna, en el año 1920.

En la década de 1940 y posteriormente en los años 1960 y 1961, se han realizado intentos por frenar este proceso erosivo, en particular mediante la construcción y remodelación de espigones. El resultado de dichas medidas ha sido infructuosos a la vista de la situación actual de la playa.

El abordaje de esta problemática, asociado al proceso erosivo que experimenta la playa, demanda un estudio particular y en detalle de este tramo de costa. Este trabajo será realizado, ante la iniciativa de la Intendencia Municipal de Maldonado, en el marco del presente Convenio próximo a la entrega del presente informe.

Tramo 4.- Punta Imán – Punta Negra

En la Figura 56, se presenta la posición de la línea de costa en los años 1966, 1980 y 2007.



Figura 56.- Evolución de la línea de costa en el tramo 4 (Punta Imán – Punta Negra). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)

Se observa estabilidad de los tramos rectos de las líneas de costa que quedan al este de las puntas Imán y Colorada, donde no se manifiestan cambios en los últimos 40 años.

En los tramos de mayor curvatura de los extremos este de cada arco, en particular de Punta Colorada, se observa un leve retroceso que se verifica en las evidencias de erosión de barranca observadas.

Tramo 5.- Punta Negra – Punta Ballena

En la Figura 57 se presenta la ubicación de las líneas de costa para el tramo 5 (Punta Negra – Punta Ballena), a partir de la información recabada de las fotos aéreas de los años 1966, 1980 y 2007.



Figura 57.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)

Los registros fotográficos no muestran mayores cambios a nivel general de este tramo de costa desde 1966 a la actualidad. En particular, en la zona de la playa Portezuelo se registra un retroceso de 0.4 m/año en un tramo de 1400 m aproximadamente, señalado con un círculo blanco en la figura anterior.

Tramo 6.- Punta Ballena – Punta del Este

En la Figura 58 se presenta la ubicación de las líneas de costa para el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este), a partir de la información recabada de las fotos aéreas de los años 1966, 1980 y 2007.



Figura 58.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)

En primer lugar se observa la estabilidad de la línea de costa en todo el tramo de la bahía de Maldonado.

Tramo 7.- Punta del Este – Laguna José Ignacio

En la Figura 59 se presenta la ubicación de las líneas de costa para el tramo 3 (Piriápolis), de los años 1966, 1980 y 2007.



Figura 59.- Evolución de la línea de costa en el tramo 6 (Punta Ballena – Punta del Este). Año 1966 (rojo). Año 1980 (anaranjado). Año 2007 (verde)

En función de los registros fotográficos analizados no se observan cambios de la línea de costa en los últimos 40 años presentándose como un tramo de costa estable.

5.4. Evolución histórica de las desembocaduras de los arroyos y de las barras de las lagunas costeras

El tramo de costa del departamento de Maldonado presenta, como se ha mencionado, la presencia de desembocaduras de cursos fluviales o lagunas costeras. La dinámica hidráulica, sedimentológica y morfológica de estos cursos o lagunas incide directamente en la dinámica costera.

Por lo tanto, se presenta en este punto el análisis de las características que las desembocaduras han experimentado en tres fechas: 1966, 1980 y 2007, a partir de la observación de fotos aéreas.

Arroyo Solís Grande

En la Figura 60 se presentan las ubicaciones que ha experimentado la desembocadura del arroyo Solís Grande en los años 1966, 1980 y 2007. Un análisis detallado de la evolución de la desembocadura del arroyo Solís Grande se presenta en el Informe IMFIA (2008) "Estudio de la Zona Costera del Balneario Solís".



Figura 60.- Características de la desembocadura del arroyo Solís Grande: 1966 (Izquierda), 1980 (Centro) y 2007 (Derecha).

En la figura se observa la zona de migración de la desembocadura. Como puede verse desde 1980 a la actualidad la desembocadura se desplazó desde el Este hacia el Oeste.

Se observa que existe una fuerte relación entre la desembocadura del arroyo y la ubicación de la línea de costa. En particular en los años que desembocaba hacia el Este, se observa un incremento del ancho de playa del balneario Solís en la zona aledaña a la desembocadura, mientras que al alejarse la desembocadura hacia el Oeste ese efecto no aparece.

Arroyo del Potrero

En la Figura 61 se presentan las características que presentó la desembocadura del arroyo del Potrero en los años 1966, 1980 y 2007.

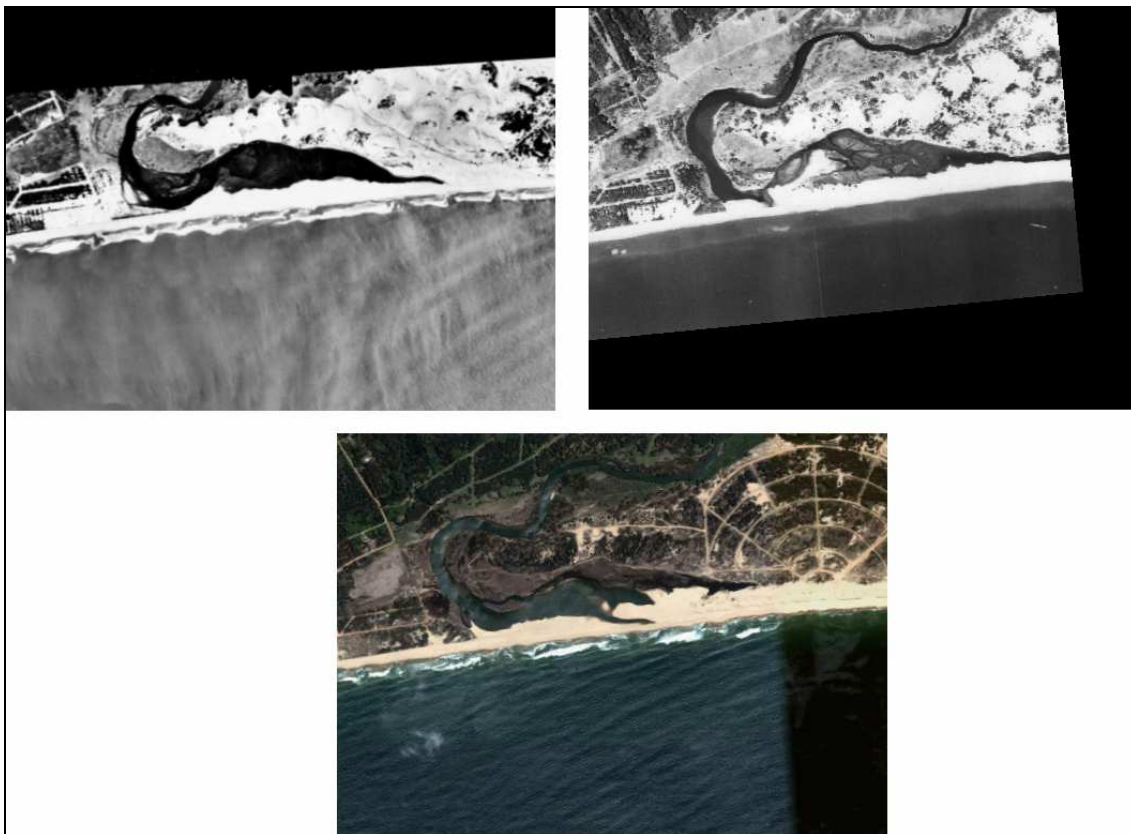


Figura 61.- Características de la desembocadura del arroyo del Potrero: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).

En primera instancia en las tres fechas se observan las características meandrosas y de baja pendiente que presenta el tramo final del arroyo.

En los distintos años se observa la zona natural de ubicación del meandro final. En particular en la foto del año 2007 se comienza a percibir la presión inmobiliaria sobre la margen izquierda de la desembocadura, en pleno meandro del arroyo. Esto que puede condicionar fuertemente la morfología de la desembocadura y la evolución que experimentará en el futuro.

Por otra parte, se observa en los tres años, que la desembocadura se encuentra cerrada, aunque con claras evidencias de haberse cerrado recientemente o de inminente rotura de la barra.

También se observa que la apertura o potencial apertura de la barra se da en distintas zonas. En el año 1966, la apertura se da hacia el este formando una laguna previo a su desembocadura. En el año 1980 la apertura migra más al este, y complementariamente se observa que posiblemente pueda abrir en línea recta a la altura de la última curva del meandro, eliminando así el tramo final del curso hacia el este. En el año 2007 vuelve a adquirir forma de laguna,

de menores dimensiones a las de 1966, y materializando la apertura más hacia el oeste.

Arroyo Maldonado

En la Figura 62 se presentan las características de la desembocadura del arroyo Maldonado a partir de las fotos aéreas de los años 1966, 1980 y 2007.

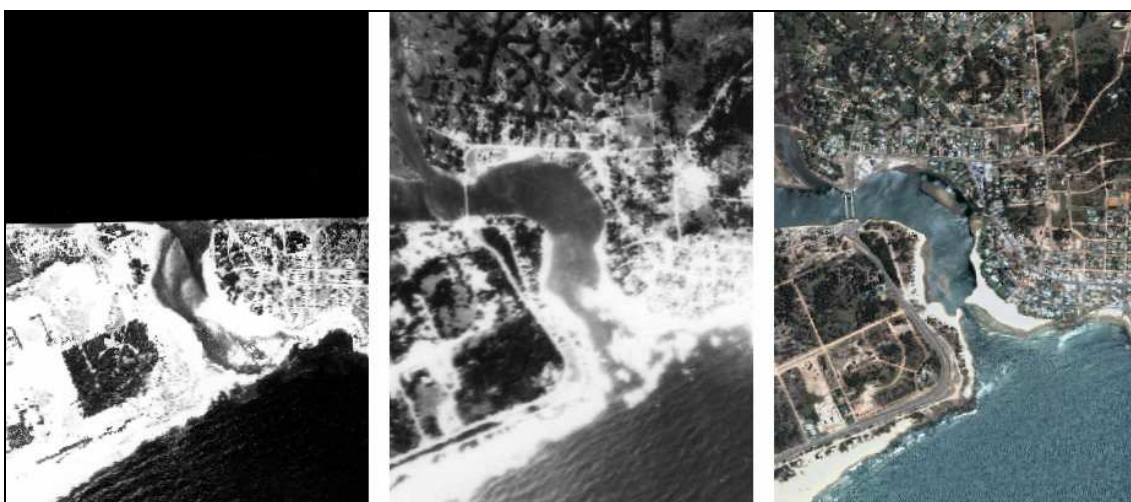


Figura 62.- Características de la desembocadura del arroyo Maldonado: 1966 (Izquierda), 1980 (Centro) y 2007 (Derecha).

Se observa en general que la ubicación de la desembocadura se encuentra fijado por las puntas rocosas que existen en ambas márgenes.

Por otra parte se observan claramente las distintas intervenciones antrópicas. En el año 1980 ya se observa el puente previo a la curva final antes de la desembocadura. En el año 1980, se observa como se ha consolidado la ubicación de la desembocadura a partir del fuerte incremento que la urbanización ha experimentado en los últimos años en ambas márgenes del arroyo.

Laguna José Ignacio

En la Figura 63 se observan las características de la laguna José Ignacio, en particular la apertura de la barra o flecha, en los tres años analizados (1966, 1980 y 2007).

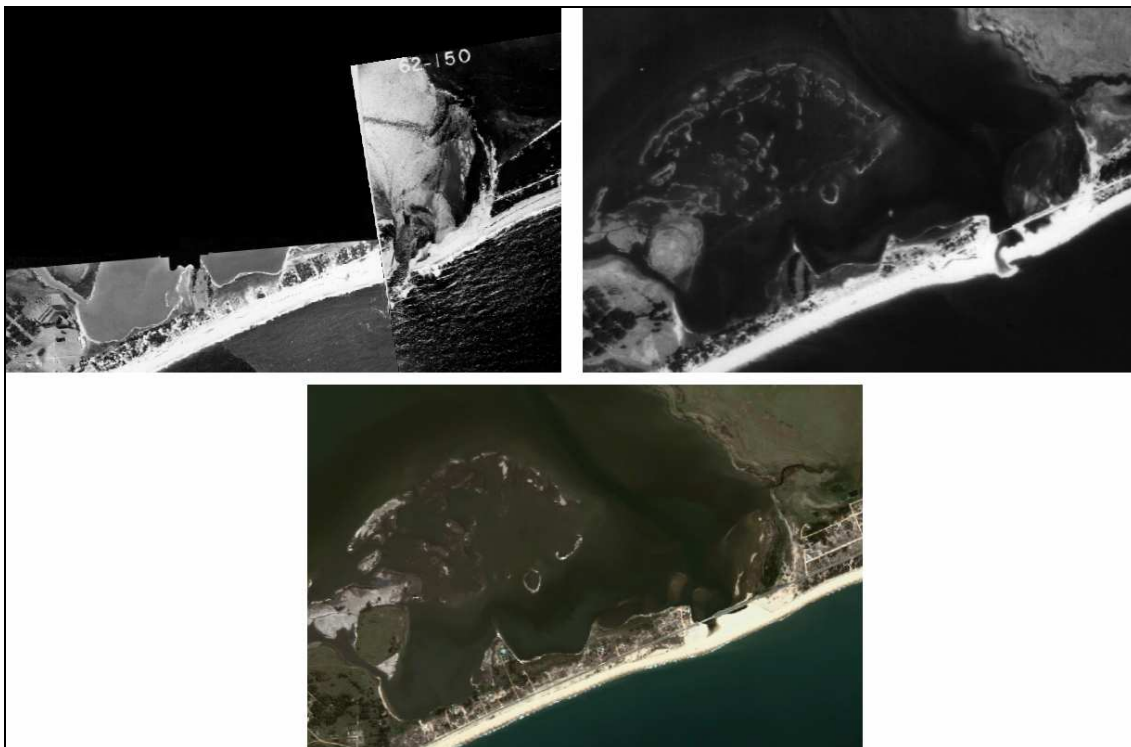


Figura 63.- Características de la desembocadura de la laguna José Ignacio: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).

En las tres fotos se observan tres situaciones distintas de la barra. En el año 1966 se observa una fuerte apertura, con un fuerte aporte de la laguna al Océano Atlántico. En el año 1980, se observa una apertura menor de la barra. En el año 2007, se observa que la laguna no está comunicada con el Océano.

En las fotos, se observan las consecuencias que introdujeron la construcción de la comunicación vial y su puente en la morfología de la desembocadura de la laguna.

Laguna Garzón

En la Figura 64 se observan las características de la desembocadura de la laguna Garzón, para los años 1966, 1980 y 2007.



Figura 64.- Características de la desembocadura de la laguna Garzón: 1966 (Superior izquierda), 1980 (Superior derecha) y 2007 (Inferior).

Puede observarse que la desembocadura presenta características semejantes en las tres fotos. La conexión de la laguna con el Océano se realiza mediante la conformación de una flecha arenosa de aproximadamente 3 km de longitud, hacia el Oeste.

En general no se percibe una fuerte presión sobre la zona natural de la propia laguna. La particularidad que presentan las fotos es que en el año 1966 se presenta abierta al Océano y en 1980y 2007, en los momentos de la foto, se presentan cerradas.

6. CONSIDERACIONES FINALES

En este Capítulo se resume la situación general de la costa del departamento de Maldonado. Luego de presentar las zonas vulnerables o sensibles ya sea desde el punto de vista físico o biológico, se sugiere un plan de monitoreo de algunos tramos de la costa. El Capítulo finaliza con un análisis sobre el cambio climático y sus posibles consecuencias sobre la costa del departamento de Maldonado.

6.1. *Situación general de la costa*

En general la costa del departamento de Maldonado, pueden diferenciarse en tres tramos, que pueden denominarse como:

- Tramo "atlántico"
- Tramo "transición"
- Tramo "estuario"

El **tramo "atlántico"** es un tramo de costa abierto, expuesto a olas de mayor altura y periodo. Se trata de un tramo de costa prácticamente recto con la presencia de ciertas interrupciones naturales, como lo son las puntas rocosas en el entorno de la desembocadura del arroyo Maldonado y las desembocaduras de dos lagunas litorales (laguna José Ignacio y Garzón)

Los análisis realizados a este tramo de costa permiten concluir que se trata de un tramo en equilibrio y que a escala geológica es una tramo progradante.

Los potenciales retroceso que existan en este tramo de costa pueden ser atribuidos a intervenciones antrópicas, como ser puentes, carreteras, diferentes desarrollos inmobiliarios, que disminuyen significativamente la disponibilidad de arena en los sistemas costeros. Se generan así procesos erosivos cuya severidad depende de la magnitud de la intervención, pero en general tenderán a ser localizados.

En los tramos más urbanizados el transporte eólico de arena desde la playa hacia el interior del territorio genera problemas de manejo de la propia arena y a su vez constituye una amenaza para el balance sedimentario de las playas.

La costa del departamento de Maldonado sobre el Río de la Plata es una sucesión de arcos de playa, que en función de su morfología y de los resultados de los análisis realizados, puede ser dividido en dos zonas, que en este informe han sido denominadas: "transición" y "estuario".

El **tramo "transición"** incluye los dos primeros arcos de playa del Río de la Plata: la bahía de Maldonado y el arco comprendido entre punta Ballena y punta Negra. Sus características morfológicas están determinadas por la presencia de puntas rocosas (punta del Este, punta Ballena y punta Negra) y la Isla Gorriti. En la bahía de Maldonado la isla Gorriti y la punta del Chileno

determinan algunas características propias del arco. Por su parte en el arco entre punta Ballena y punta Negra la presencia de la desembocadura del arroyo El Potrero condiciona también la forma del mismo.

Estos dos tramos pueden ser considerados como arcos de playas encajadas, cuya posición es cercana a la de equilibrio estático y por tanto sin tendencias de retroceso o pérdida de playa a largo plazo. A mediano y corto plazo existen sin embargo fenómenos que pueden afectar la estabilidad de estas playas, alguno de los cuales se enumera a continuación:

El tramo de la bahía de Maldonado es un tramo fuertemente urbanizado e intervenido en las últimas décadas. Esas intervenciones, fundamentalmente la ruta costanera y la fuerte urbanización desde esa ruta hacia el interior del territorio, no han sin embargo afectado en forma sustancial la línea de playa ni el primer cordón de dunas. Más allá de algunas obras particulares ubicadas entre la línea de dunas y la línea de costa, la playa ha mantenido su forma en planta y perfil, permaneciendo como una de las playas de mayor uso e importancia desde el punto de vista recreativo y turístico, del país.

El tramo entre la punta Ballena y punta Negra es un tramo con fuerte presión del desarrollo inmobiliario, siendo una de las zonas con mayor potencial de crecimiento turístico. La particularidad de este arco es la presencia del afloramiento de la napa freática en la playa, restándole confort y atracción para uso recreativo. También cabe mencionar, que se han desarrollado varios estudios y obras por parte de la Intendencia Municipal de Maldonado que han mitigado el problema. Este tramo debe ser gestionado con mucha atención para no realizar o permitir intervenciones que rompan el equilibrio que presenta.

El ***tramo "estuario"*** comprende la sucesión de arcos que van desde punta Negra hasta la desembocadura del arroyo Solís Grande.

Este tramo es una sucesión de arcos que no pueden considerarse por separado como unidades fisiográficas independientes.

El tramo punta de Ánimas – arroyo Solís Grande y en menor medida en ciertas zonas del tramo punta Imán – punta Negra presentan una tendencia al retroceso de la línea de costa y erosión de la playa. Por lo tanto, se sugiere que la gestión de estos tramos y en general todo la zona "estuario" se dirija hacia medidas de adaptación a esa tendencia al retroceso.

En este tramo de costa se encuentra el arco de playa del balneario Piriápolis, con sus históricas intervenciones y particulares problemáticas. Este tramo de costa debe ser estudiado al detalle, lo que será abordado con posterioridad a la entrega del presente informe en el marco del presente convenio.

6.2. Zonas vulnerables

Los resultados presentados intentan resumir el conocimiento de las variables físicas que intervienen en forma determinante en el comportamiento de la zona costera del departamento de Maldonado y deben formar parte de las bases de su gestión. En esa dirección las zonas de mayor vulnerabilidad y fragilidad relacionada con la estabilidad física de la costa son las lagunas litorales, las desembocaduras de los arroyos y el cordón de dunas, médanos y playas.

Las lagunas litorales, además de su alto valor medioambiental, son sistemas particularmente frágiles debido a los complejos fenómenos de interacción entre la hidrodinámica y la sedimentología de la propia laguna y las del mar. También las desembocaduras de los arroyos son sistemas potencialmente inestables y factibles de sufrir cambios dramáticos ante intervenciones antrópicas y que a su vez inciden sobre la estabilidad de la costa.

Por otra parte, el cordón dunar es de vital importancia en la adaptación del perfil de playa frente a la avenida de tormentas. La duna funciona como fuente de sedimento de la barra que se forma y que disipa la energía del oleaje incidente y es por lo tanto la principal fuente de estabilidad de la playa. Cualquier intervención que afecte esa función tiene inevitables consecuencias sobre la playa.

A su vez, como ha sido mencionado en el informe "Diagnóstico de la biodiversidad de la costa de Maldonado", realizado en el marco del presente Convenio, las unidades ambientales con mayores valores de biodiversidad son:

- las dunas, médanos y playas
- las lagunas costeras,
- las puntas rocosas y el ambiente marino
- el arroyo Maldonado

6.3. Monitoreo

La comprensión de la morfodinámica costera en general y de la costa del departamento de Maldonado en particular, depende en gran medida de la capacidad de obtener datos en condiciones naturales. Es por esto que se sugiere se instale un programa de monitoreo y seguimiento de algunos tramos de la costa de Maldonado. Complementariamente, el plan de monitoreo y seguimiento puede brindar información para el planeamiento, evaluación y gestión de la costa del departamento.

Se sugiere que el plan de Monitoreo se sustente sobre la base de estación de monitoreo mediante cámaras de video de alta resolución. Esta herramienta, actualmente de uso extendido a nivel internacional, permite distintos análisis, como por ejemplo:

- Restitución de imágenes (fotogrametría) para obtener medidas a escala real de:
 - Posición de la línea de costa
 - Ancho de playa

- Tamaño y localización de formas costeras (barras, etc.)
 - Medidas sobre la morfología de la playa durante un determinado periodo de tiempo, permitiendo hacer análisis pre y post tormentas
 - Analizar el comportamiento de determinadas obras (muros costaneros, espigones, muelles de puerto, etc.) a lo largo de un periodo de tiempo o frente a la ocurrencia de tormentas. Analizar las consecuencias de esas obras en el tramo de costa en distintas condiciones.
 - Identificar zonas de rotura de oleaje y formas de fondo como barras sumergidas y su evolución en el tiempo.
 - Determinar distintas variables hidrodinámicas como las características del oleaje.

En función de las características, de la importancia y de las posibilidades físicas de instalar las estaciones, se identificaron las siguientes playas donde se recomienda implementar el monitoreo. Solís, Piriápolis, Playa Mansa, Playa Brava y José Ignacio.

El monitoreo debe ser complementado con seguimiento topo-batimétrico (en distintas estaciones del año), con el control de la evolución de la granulometría y con la realización de fotografías aéreas con periodicidad bianual.

6.4. Consecuencias del cambio climático

En la comunidad científica existe acuerdo sobre la existencia del calentamiento global y sus consecuencias en el denominado "cambio climático", así como su probable vinculación con las actividades industriales. Dentro de las consecuencias más importantes se destaca el aumento de la temperatura, de las precipitaciones anuales y de los niveles medio del mar.

A nivel regional existen diversos análisis y estudios que abordan el tema del cambio climático. Entre ellos se destaca el Capítulo 14 de El cambio climático en el Río de la Plata (Bidegain et al, 2005).

En ese trabajo se muestra la variabilidad que presentan las variables geofísicas: precipitación acumuladas anuales, temperatura, nivel medio del mar, caudales de los ríos Uruguay y Paraná, salinidad en Montevideo, velocidad media del viento e índice de circulación zonal meridional (medida indirecta del gradiente de presiones al medio del Río de la Plata).

En ese trabajo se concluye que los registros de las variables precipitación acumulada anual, temperatura, nivel medio del mar, caudales de los ríos Uruguay y Paraná, muestran tendencias incrementales, mientras que la salinidad en Montevideo, la velocidad media del viento y la presión sobre el nivel del mar presenta una tendencia decreciente.

La temperatura ha aumentado desde 1883 algo más de 0.8 °C acelerándose en los últimas décadas. Las precipitaciones anuales se han incrementado en un

20 %, desde 1000 mm anuales en 1901 hasta los 1200 mm de la actualidad. Este crecimiento se nota acelerado desde la década de 1970. La disminución de la presión atmosférica a nivel del mar se asocia a los cambios de la circulación atmosférica regional y mundial (incluidos eventos El Niño y La Niña y desplazamiento hacia el Sur del anticiclón del Atlántico Sur). El caudal medio anual del río Uruguay presenta un aumento del 45 % entre 1921 y 2003. Los caudales del río Paraná presentan un comportamiento similar aunque no tan pronunciado.

Los registros del nivel medio del mar hasta el año 2003 habrían experimentado un crecimiento de 11 cm, de los cuales un gran porcentaje se produjo en las últimas décadas. Este crecimiento, presenta como particularidad que gran parte del aumento es atribuible a fenómenos locales (caudales, presión, cambios de vientos) y no al aumento eustático asociado al calentamiento global.

Por otra parte, Forbes y Chao (1996) presentan el análisis estadístico de registros máximos de nivel de mar. El objetivo de ese trabajo es analizar la variación del nivel del mar en la zona costera uruguaya asociado a tormentas. Entre los principales resultados se destaca que para los valores máximos de niveles de marea existe una tendencia oscilatoria, donde incluso los últimos registros se encuentran por debajo de la media histórica. Por ejemplo la media móvil de 20 años de los registros de 1980 es inferior entre 8 y 15 cm que la de 1920.

En resumen, es posible afirmar que en los trabajos explicitados anteriormente, para las variables físicas de interés para estudios costeros, se concluye:

- Los niveles medios de mar en la costa uruguaya han experimentado incrementos de 11 cm en los últimos 100 años. Este incremento se asocia principalmente a los incrementos observados en los caudales del río Uruguay y río Paraná.
- Los niveles máximos anuales del mar, asociados a tormentas, han disminuido en las dos últimas décadas. Detectándose una tendencia cíclica de variación.
- La velocidad media del viento presenta una tendencia decreciente durante el siglo XX. Se registra un aumento de los vientos provenientes del Este y un desplazamiento hacia el Sur del anticiclón del Atlántico Sur.
- Existe cierta tendencia creciente en la precipitaciones acumuladas anuales y un claro cambio en la variabilidad de las precipitaciones

Las conclusiones señaladas no permiten establecer consecuencias claras sobre la evolución de la línea de costa pudiéndose señalar efectos contradictorios de los cambios registrados. Por un lado, el aumento del nivel medio del mar implica una tendencia al retroceso de la costa, pero por otra parte, el descenso de los niveles máximos de mar y la intensidad del oleaje en tormentas, determina un menor potencial erosivo. Debe señalarse además que no existe suficiente evidencia científica acerca de la tendencia final de varios de los cambios registrados, pudiéndose estar también frente a oscilaciones interanuales de carácter natural.

Puede asegurarse en cambio que la tendencia al aumento de las precipitaciones incrementa la fragilidad de las desembocaduras de arroyos y lagunas litorales. Por otra parte, las variaciones en los patrones de viento pueden determinar cambios en el clima de olas y consecuentemente en el transporte litoral de sedimentos, con un aumento de la predominancia de las componentes de la dirección Este. Estos cambios pueden provocar la deriva de las desembocaduras y en consecuencia incentivar algunos procesos erosivos en las inmediaciones de las mismas (por ejemplo la desembocadura del arroyo Solís Grande).

7. BIBLIOGRAFÍA

Bracco, R., Navarro, R. and Ures, M. (1997). "Primeros resultados geocronológicos y paleogeográficos de la Cuenca de la Laguna de Castillos (Rocha, Uruguay)". In print.

Bracco, R., and Ures, M. (1998). "Las variaciones del nivel del mar y el desarrollo de las culturas prehistóricas del Uruguay". Actas del II Congreso Uruguayo de Geología. Sociedad Uruguaya de Geología Punta del Este, Uruguay. 16-20.

Bidegain, M., R. M. Caffera, V. Pshennikov, J. J. Lagomarsino, G. J. Nagy y E. A. Forbes (2005): "Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el Río de la Plata y costa uruguaya", en V. Barros, A. Menéndez y G. J. Nagy (eds.): El cambio climático en el Río de la Plata, n.o 14, pp. 137-143. Buenos Aires, CIMA-UBA, 2005, 200 pp.

Dean, R. G. and Dalrymple R. (2002). A. Coastal Processes whit Engineering Applications. Cambridge University Press. ISBN 0 521 49535 0.

ECOPLATA (1999). Diagnóstico ambiental y socio-demográfico de la zona costera uruguaya del Río de la Plata.

Everts, C.H. (1991). Seacliff retreat and coarse sediment yields in Southern California. Coastal Sediment '91. American Society of civil Engineers., 2, 1586-1598.

Forbes E. A. y Chao R. (1996) Variaciones del nivel medio del mar y evolución de la elevación del nivel medio por tormenta en la zona costera uruguaya. Antecedente de trabajo de la Comisión Nacinal de Cambio Global para la realización del Estudio País.

Gravens, M.B.; Kraus, N.C and Hanson H. (1991). GENESIS: Generalized Model for Simulated Shoreline Coastal Engineering Research Center CERC. Departamntent of the Army. US Army Corps of Engineers.

Kamphius, J. William (2000). Introduction to Coastal Engineering and Management, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering. ISBN 981 02 3830 4

Lee, E. M. (2004). Costal Cliff recession risk: a simple judgement-based model. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 38, 89-104

Martin, M. And Suguio, K., (1989). International Symposium on Global Changes in South Africa during the Quaternary, Special Publication N°2, Sao Paulo, Brasil, 8-12.

Payo, A.; Baquerizo, A. and Losada, M. A.. (2002). One-line model with time dependent boundary conditions. Proc. 28th Coastal Engineering Conf., ASCE, World Scientific, Vol. 3, pp 3046-3052.

Panario D. y Gutiérrez O. (2005). Situación de la playa del balneario Solís. Trabajo presentado en el evento promovido por la Colonia de Vacaciones del Sindicato Médico del Uruguay, asesorado por la UNCIEP de la Facultad de Ciencias. Septiembre 2005.

PNUD-MTOP-UNESCO (1978). Conservación y Mejora de Playas – URU. 73.007.

Teixeira, L., Montana J., Losada, M. (1998) "Littoral Processes in a Prograding Coast: the Case Study of the Atlantic Ocean Coast of Uruguay". International Conference on Coastal Engineering. (ICCE'98). CopenHagen, Denmark.

US Army Corps of Engineers (1984). Shore Protection Manual.
