



Facultad de Ciencias  
*Universidad de la República*



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

---

# TESINA PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

*Vulnerabilidad del sistema dunar y pautas para el manejo de la gestión ambiental en la faja costera urbanizada, Canelones, Uruguay.*

*Agustín Loureiro Ríos*

*Orientador: Dr. Daniel Panario*

*Co orientador: Msc. César Fagúndez*

*Tribunal:*

*Dr. Daniel Panario*

*Msc. César Fagúndez*

*Dr. Daniel Conde*

*Fecha*

*19 septiembre, 2017*

## **Tipo de trabajo**

Tesis de grado

### **1. Denominación de la tesis**

Vulnerabilidad del sistema dunar y pautas para el manejo de la gestión ambiental en la faja costera urbanizada, Canelones, Uruguay.

### **2. Identificación del proyecto**

**Universidad:** Universidad de la República.

**Unidad académica:** Facultad de Ciencias, Iguá 4225 Montevideo, Uruguay.

**Carrera:** Licenciatura en Ciencias Biológicas, opción Ecolog[ia].

**Unidad ejecutora:** UNCIEP, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

**Palabras claves:** GIZC, SIG, formaciones vegetales, tipos funcionales, cordón dunar, resiliencia, vulnerabilidad, línea de costa, sensores remotos, evolución.

### **3. Orientadores**

#### 3. 1. Orientador

Daniel Panario

Profesor Titular, UNCIEP, IECA, Facultad de Ciencias.

Dedicación Total.

#### 3.2. Co-Orientador

César Fagúndez

Asistente (Grado 2/DT), PDU: Aportes a la gestión territorial y producción responsable en la Región Este: Biodiversidad, Ambiente y Sociedad. Sede CURE (Ruta 9 y Ruta 15).

Tel. (00589) 44727001 int.480. Rocha-URUGUAY.

### **4. Estudiante**

Agustín Loureiro Ríos

C.I: 1.977.371-9

Email: agumares@hotmail.com

### **5. Duración del plan de trabajo**

Nueve meses

# INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>4</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>8</b>
<b>INDICE DE ABREVIACIONES</b> .....	<b>15</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>16</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>17</b>
<i>PALABRAS CLAVE:</i> .....	18
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	19
<b>ANTECEDENTES</b> .....	21
<i>Zona de estudio</i> .....	21
<i>Historia Geológica</i> .....	23
<i>Erosión costera y riesgos geológicos</i> .....	24
<i>Urbanización e infraestructura costera</i> .....	25
<i>Dinámica litoral</i> .....	26
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	27
<b>OBJETIVOS</b> .....	28
<i>Objetivo general</i> .....	28
<i>Objetivos específicos</i> .....	28
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>MATERIALES</b> .....	30
<b>DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL CORDÓN DUNAR</b> .....	30
<i>Estratificación, censo de infraestructura y muestreo vegetal</i> .....	30
<i>Tipos funcionales</i> .....	31
<i>Análisis del componente vegetal</i> .....	32
<i>Vulnerabilidad</i> .....	33

EVOLUCION HISTÓRICA DE LÍNEA DE COSTA Y PRIORIZACIÓN EN BASE A LA TASA DE EROSIÓN .....	35
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
CAPÍTULO 1: AJUSTE DE LAS LISTAS DE CHEQUEO A LAS CONDICIONES DE UNA FAJA COSTERA URBANIZADA.....	38
CAPÍTULO 2: DIAGNÓSTICO INTEGRAL Y CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DUNAR EN UN ÁREA URBANIZADA. ....	44
<i>Estratificación</i> .....	44
<i>Censo de infraestructura y usos</i> .....	45
<i>Componente biótico: composición y estructura de las formaciones vegetales</i> .....	49
<i>Especies indicadoras: IndVal</i> .....	60
<i>Vulnerabilidad</i> .....	62
CAPÍTULO 3: TASA DE ACRECIÓN / EROSIÓN HISTÓRICA Y MÁXIMA OBSERVADA EN EL TRAMO DE COSTA CONSIDERADO .....	72
<i>Tasa de retroceso máxima observada</i> .....	98
<i>Evolución reciente de la línea de costa</i> .....	101
CAPÍTULO 4: RECOMENDACIONES PARA LA ELECCIÓN DE MEDIDAS DE REGENERACIÓN DUNAR POR SITIO Y PAUTAS PARA LA GENERACIÓN DE UNA AGENDA DE MANEJO PRIORIZADA. ....	102
<i>Recomendaciones a nivel de sitios</i> .....	105
PLANIFICACIÓN A MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	108
CAPÍTULO 5: PROGRAMA DE SEGUIMIENTO. ....	108
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
REVISIÓN METODOLÓGICA .....	112
<b>PERSPECTIVAS .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO: Interpretación de la dinámica del sistema costero a nivel de sitios .....</b>	<b>124</b>
<i>Arco de Playa Edén Rock sitio 1</i> .....	124
<i>Arco de Playa Edén Rock sitio 2</i> .....	126
<i>Arco de Playa Edén Rock sitio 3</i> .....	130
<i>Arco de Playa Brava sitio 1</i> .....	134
<i>Arco de Playa Brava sitio 2</i> .....	136
<i>Arco de Playa Brava sitio 3</i> .....	140
<i>Arco de playa Mansa</i> .....	142

# INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metadatos de las imágenes aéreas utilizadas para cada arco de playa y por sitio estudiado.

Tabla 2. Lista de variables y su descripción por índice parcial que compone al índice de vulnerabilidad a las principales forzantes. Se destacan en *itálica* aquellas variables obtenidas del cuerpo de Guardavidas.

Tabla 3. Lista de variables empleadas en el cálculo del índice de capacidad adaptativa. Se destacan en  *cursiva* aquellas calificadas en base a la información recabada del cuerpo de Guardavidas.

Tabla 4. Estratificación de la zona de estudio número de unidades de muestreo (UM) y puntos de muestreo por arco de playa a razón de tres réplicas de cuarenta puntos cada una.

Tabla 5. Resultados del censo de infraestructura por sitio en los diferentes arcos de playa estudiados.

Tabla 6. Usos observados en la zona de estudio por sitio.

Tabla 7. Lista de especies vegetales registradas en la zona de estudio de los tres arcos de playa ordenadas alfabéticamente por familia, nombre científico, nombre común, origen y tipo funcional.

Tabla 8. Riqueza observada, número de Singletones, Dobletones y riqueza esperada por sitio y estimador.

Tabla 9. Porcentaje de completitud para los estimadores estudiados ACE, ICE, Chao 1, Chao 2, Jack 1 y promedio por estimador y sitio.

Tabla 10. Riqueza de especies (S), número de individuos (N), índice de equidad de Pielou 1966 (J') y porcentaje de cobertura total (%C) y por grupo funcional para cada arco de playa y sitio.

Tabla 11. Valores de diversidad Alfa y Beta para los tres niveles considerados indicándose entre paréntesis el valor de significancia estadística obtenido a partir de mil iteraciones empleando aleatorizaciones individuales.

Tabla 12. Índice de Capacidad Adaptativa (ICA), Índice de Vulnerabilidad (IV) y Vulnerabilidad (V) por sitio. Se destacan en tonos de gris valores superiores a 0.5; 0.6 y 0.7.

Tabla 13. Índice y sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio y arco de playa.

Tabla 14. Resultados del análisis de componentes principales (PCA) en base a los sub-índices de vulnerabilidad.

Tabla 15. Índice de capacidad adaptativa (ICA) por sitio. Se destacan en tonos de gris valores superiores a 0.5; 0.6 y 0.7.

Tabla 16. Variación del área (Hectáreas) en todos los sitios para tres indicadores de costa durante el período 1937- 2006. Se destaca en tonos de gris valores negativos.

Tabla 17. Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (metros cuadrados / año / metro lineal de playa) calculado en base a tres indicadores de línea de costa. Se destaca en tonos de gris valores negativos.

Tabla 18. Variación promedio de la posición (metros) de tres indicadores de la línea de costa en el período 1937 - 2006. Se destacan en tonos de gris valores negativos.

Tabla 19. Índice de diferencia como porcentaje con la mayor (IDMaSPA) y menor (IDMeSPA) superficie de playa anterior por sitio calculado en base a tres indicadores de posición de la línea de costa.

Tabla 20. Tasa erosiva máxima observada en metros por año por sitio.

Tabla 21. Período de afectación basado en la relación distancia a Infraestructura / Tasa de erosión máxima observada.

Tabla 22. Lista de medidas de manejo por sitio detallándose entre el volumen total y el prioritario.

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de imágenes presentando la ubicación de la zona de estudio.

Figura 2. Mapa conceptual del trabajo realizado.

Figura 3. Esquema de la estratificación realizada en la zona de estudio. La playa Edén Rock presentó tres sitios (el tercer tramo se subdividió en dos partes 3a y 3b) al igual que la playa Brava y la Mansa cuatro. Imagen tomada y modificada de Google Earth.

Figura 4. Histograma de número de especies agrupadas jerárquicamente por las familias registradas en la zona de estudio distinguiéndose en tonos de gris el origen entre nativas y exóticas.

Figura 5. Histograma de frecuencia de especies agrupadas jerárquicamente por las familias registradas en la zona de estudio distinguiéndose en tonos de gris el tipo funcional.

Figura 6. Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jackknife 1 por sitio del arco de playa Edén Rock.

Figura 7. Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jackknife 1 por sitio del arco de playa Brava.

Figura 8. Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jackknife 1 por sitio del arco de playa Mansa.

Figura 9. Diversidad Alfa y Beta observada y esperada en base a aleatorizaciones individuales empleando mil iteraciones, en los tres niveles considerados (réplicas, sitios y arcos de playa). Se indica la diversidad alfa para

el nivel más bajo analizado, dado que el valor de Alfa para los niveles superiores resulta de la suma de Alfa y Beta en el nivel inferior próximo.

Figura 10. Análisis de Agrupamiento en base a la matriz de semejanza (distancia Jaccard) de datos de presencia - ausencia de especies. Se presenta en negro los nodos estadísticamente significativos ( $p < 0.5\%$ ) y en punteado el corte al 50% de similitud.

Figura 11. Representación en dos dimensiones del espacio multidimensional conformado por las especies en base a datos de presencia-ausencia. Los símbolos y contornos representan asociaciones gráficas respecto al agrupamiento Complete Linkage de la figura 9.

Figura 12. Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Edén Rock. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

Figura 13. Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Brava. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

Figura 14. Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Mansa. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

Figura 15. Agrupamiento de sitios en base a los sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes relevados el 26/03/2012. Se señala en negro las agrupaciones estadísticamente significativas (97%).

Figura 16. Resultados del análisis de componentes principales en base a los sub índices de vulnerabilidad combinado con el análisis de agrupamiento de sitios de la figura 14.

Figura 17. Variaciones del área (hectáreas) del sitio tres del arco de playa Edén Rock respecto a los indicadores de la línea de costa Línea de marea alta previa (PHWM), Punto de afloramiento de la napa freática (GWEP) y Escarpa de erosión (ES) durante el período 1937- 2006.

Figura 18. Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Edén Rock para tres indicadores de línea de costa durante el período 1937 - 2006. Se excluyó del análisis los sitios Edén Rock 1 y 2.

Figura 19. Desembocadura del arroyo Solís Chico el 22/03/1966. Obsérvense las lagunas formadas por el antiguo canal al producirse el cambio de punto de descarga.

Figura 20. Desembocadura del arroyo Solís Chico el 19/03/1980. En negro se señala el *proxy* GWEP (punto de surgencia de napa freática) correspondiente al año 1966 denotando el proceso de colmatación de la antigua vía de drenaje y un desplazamiento hacia el Oeste de la desembocadura.

Figura 21. Desembocadura del arroyo Solís Chico el 09/09/2006. La línea sólida señala el *proxy* GWEP (punto de surgencia de napa freática) correspondiente al 22/03/1966 y la punteada correspondiente al 19/03/1980. Nótese el desplazamiento hacia el Oeste de la desembocadura.

Figura 22. Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 10/04/1937. Se presenta en punteado el *proxy* PHWM.

Figura 23. Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 22/03/1966 presentándose el *proxy* PHWM en negrita combinado punto y raya y en punteado el del año 1937.

Figura 24. Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 19/03/1980 presentándose el *proxy* PHWM correspondiente en negrita como línea sólida con barras paralelas, combinado punto y raya respecto al año 1966 y en punteado al del año 1937.

Figura 25. Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 09/09/2006 presentándose el *proxy* PHWM correspondiente en línea sólida, línea sólida con barras perpendiculares, combinado punto y raya y punteado para los años 1980, 1966 y 1937 respectivamente.

Figura 26. Variaciones del área por sitio del arco de playa Brava durante el período 1937- 2006 respecto a los indicadores de la línea de costa Línea de marea alta previa (PHWM), punto de emergencia de la napa freática (GWEP) y escarpa de erosión (Erosion Scarp).

Figura 27. Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Brava para tres indicadores durante el período 1937 - 2006.

Figura 28. Composición de imágenes del sitio uno de la Playa Brava de los años 1937; 1966; 1980 y 2006 respectivamente. Son distinguibles signos de extracción de arena (huellas de vehículos y un pozo en cuyo centro aflora la napa freática) en la primera imagen y de recuperación en las sucesivas imágenes. Se señala en color azul el indicador Erosion Scarp correspondiente al año 1966.

Figura 29. Variaciones del área por sitio respecto a tres indicadores de la línea de costa del arco de playa Mansa durante el período 1937- 2006 respecto a los indicadores de la línea de costa línea de marea alta previa (PHWM), punto de emergencia de la napa freática (GWEP) y escarpa de erosión (Erosion Scarp).

Figura 30. Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Mansa para tres indicadores durante el período 1937 - 2006.

Figura 31. Arco de playa Mansa sitio uno presenta afloramientos rocosos en toda su extensión.

Figura 32. Playa Mansa sitio 1 a la izquierda el 10/04/1937 y a la derecha el 09/09/2006, se presenta el indicador PHWM en punteado y continuo para los años 1937 y 2006 respectivamente. Nótese el descubrimiento del afloramiento rocoso respecto al año 1937.

Figura 33. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando el afloramiento de la napa freática. Nótese la carencia de cobertura vegetal sobre su límite con el sitio tres.

Figura 34. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando derrumbes recientes. Nótese la posición de la boya dejada por la resaca de tormenta al pie de la barranca.

Figura 35. Arco de Playa Mansa el 10/04/1937 presentando el proxy PHWM en línea solida, solida fina con barras perpendiculares, combinado en punto y raya y punteado para los años 2006, 1980, 1966 y 1937 respectivamente.

Figura 36. Arco de Playa Edén Rock: sitio 1 presentando en primera línea dunas terciarias erosionadas en su base por el arroyo Solís Chico.

Figura 37. Arco de playa Edén Rock la flecha roja indica el límite entre el sitio 1 y 2 donde se observa el punto de descarga al 25/03/2012 del arroyo Solís Chico. La flecha naranja señala la anterior posición de la vía de drenaje que actúa como trampa de arena situada al pie de la duna frontal.

Figura 38. Arco Edén Rock sitio 2 presenta en su mitad oeste un campo de dunas móviles producto de la erosión y deflación del cordón de dunas terciarias.

Figura 39. Arco de playa Edén Rock sitio 2, presentando un campo de dunas móviles que alcanza la rambla.

Figura 40. Edén Rock sitio 2 se observa la transición de Este a Oeste entre un frente dunar compuesto por un cordón relicto de dunas terciarias hacia un campo de protodunas en procesos de colonización vegetal.

Figura 41. Arco Edén Rock sitio 2 mitad Oeste presentando en primera línea un campo de protodunas y por detrás de las mismas un cordón de dunas terciarias parcialmente erosionadas.

Figura 42. Arco de playa Edén Rock sitio 3 puede apreciarse una duna frontal de buena expresión. Nótese la barranca de erosión producida durante una tormenta al pie de la misma.

Figura 43. Arco de playa Edén Rock sitio tres se observa por detrás de la duna frontal un relicto del cordón de dunas terciarias.

Figura 44. Arco de playa Edén Rock sitio tres presenta cortes sobre el cordón dunar coincidentes con las intersecciones de las calles transversales a la rambla. Nótese la existencia de estacionamientos carentes de accesos regularizados y las trillas por sobre todo el sistema.

Figura 45. Arco de playa Edén Rock sitio tres presenta estacionamientos carentes de accesos regularizados lo que provoca la pérdida de la cobertura vegetal y deflación alrededor del punto de acceso. Obsérvense además el uso de la duna frontal para actividades de recreación.

Figura 46. Vista aérea y a nivel de playa del sitio uno del arco de playa Brava. Nótese la infraestructura de estacionamiento y las trillas de acceso irregular en la primera así como el cordón dunar presente en el lado este de la segunda fotografía.

Figura 47. Playa Brava sitio uno presentando un cordón dunar incipiente recostado sobre una barranca fijada por la vegetación con afloramientos rocosos. Nótese la cercanía al borde de la barranca de los vehículos estacionados.

Figura 48. Arco de playa Brava sitio dos presentando una duna frontal fragmentada con perfiles inestables recostada sobre un cordón de dunas terciarias. Nótese las trillas como vía de acceso desde el área de parking ubicada detrás del sitio y el zócalo producido por el agua canalizada a través del desagüe pluvial.

Figura 49. Imágenes del desagüe pluvial ubicado entre los sitios dos y tres del arco de playa Brava luego de lluvias intensas ocurridas en diciembre del 2008.

Figura 50. Arco de playa Brava sitio tres presentando una duna frontal con una pronunciada barranca de erosión. Nótese el perfil inestable de la duna frontal y la corta distancia a la marca de resaca.

Figura 51. Arco de playa Mansa sitio uno presenta afloramientos rocosos en toda su extensión.

Figura 52. Arco de playa Mansa sitio dos presentando un afloramiento permanente de la napa freática en gran parte de su extensión. Nótese la protoduna vegetada detrás de la casilla de guardavidas.

Figura 53. Imágenes del arco de playa Mansa sitio dos donde se aprecia la carencia de estructura dunar.

Figura 54. Imagen del arco de playa Mansa sitio dos, registrado el 30/11/2011 sometido a diversas e intensas presiones antrópicas.

Figura 55. Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea un cordón dunar de pobre expresión recostado sobre una barranca estabilizada por la cubierta vegetal. Nótese la extensión del área de estacionamiento asociada al sitio y la acotada zona con arena seca al borde de la duna frontal.

Figura 56. Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea un cordón dunar fragmentado. Nótese la presencia de accesos irregulares desde la rambla surcando la duna frontal.

Figura 57. Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea los sedimentos desprendidos por la barranca tras el embate de mareas meteorológicas. Nótese la cercanía del área de parking asociada al sitio.

Figura 58. Arco de playa Mansa sitio tres, imagen registrada el 30/11/2011, presenta ejemplos de signos de deflación producto del ingreso irregular.

Figura 59. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando un insipiente cordón dunar recostado sobre la barranca activa.

Figura 60. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando una frondosa vegetación al pie de barranca que le brinda cierta estabilidad.

Figura 61. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando afloramiento de la napa freática. Nótese la carencia de cobertura vegetal sobre su límite con el sitio tres.

Figura 62. Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando derrumbes recientes. Nótese la posición de la boya dejada por la resaca de tormenta al pie de la barranca. Nótese el retroceso de la barranca en relación al comienzo del espigón.

Figura 63. Vista aérea del sitio cuatro del arco de playa Mansa el 20/09/2006. Presenta una baja ocupación y acceso restringido. Se señala en rojo los límites del sitio y en amarillo los accesos irregulares.

# INDICE DE ABREVIACIONES

Br: Brava

EdR: Edén Rock

Escarp: Escarpas de erosión (Erosion scarp).

GIZC: Gestión Integrada de la Zona Costera.

GWEP: Punto de afloramiento de la napa freática (Ground Water Exit Point).

IDMaSPA: Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior.

IDMeSPA: Índice de Diferencia con la Menor Superficie de Playa Anterior.

ICA: Índice de Capacidad Adaptativa

ICG: Índice de Condición Geomorfológica.

ICV: Índice de Condición Vegetal.

IG/PP: Índice de Ganancia/Pérdida de Playa.

IIE: Índice de Incidencia Eólica.

IIM: Índice de Incidencia Marina.

IMC: Intendencia Municipal de Canelones

IndVal: valor de indicación (Indicator value)

IPA: Índice de Presión Antrópica

IVPF: Índice de Vulnerabilidad a las Principales Forzantes

M: Mansa

PHWM: Línea de marea alta previa (Previous High tide high Water Marck)

RAI: Restricción de Accesos Irregulares

SGM: Servicio Geográfico Militar

SSRFAU: Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea

UM: Unidad de Muestreo

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi familia que con su amor me impulsa a superarme constantemente. En el ámbito profesional son varias las personas que han brindado su tiempo y colaboración para gestar este trabajo, a pesar de que en sus comienzos pareciera no tener pies ni cabeza. A Gabriela Eguren y César Goso por ayudarme a iniciar el camino y en particular quiero agradecer a un compañero de la vida, César Fagúndez por su constante e incondicional apoyo y a Daniel Panario que con paciencia y un sinfín de aportes acompañó mis tiempos y amplió profundamente el alcance del trabajo.

A todos ellos muchas gracias.

# RESUMEN

Las zonas costeras son ambientes dinámicos sobre los que confluyen diversos procesos naturales y múltiples actividades antrópicas. Se denomina Gestión Integrada de la Zona Costera (GIZC) a una metodología de gestión ambiental desarrollada para atender los aspectos involucrados, que considera las características y procesos tanto naturales como sociales, culturales y políticos identificando sus tendencias con perspectivas de manejo a corto, mediano y largo plazo. El presente estudio constituye un aporte al proceso de generación de una GIZC a nivel de escala local, sobre la zona comprendida entre el balneario Villa Argentina y el arroyo Solís chico (depto. Canelones). Se desarrolla una metodología para la evaluación del estado de vulnerabilidad y capacidad adaptativa del sistema dunar, junto a una síntesis de los principales aspectos a considerar para asistir el proceso de elección de medidas de recuperación dunar y la conformación de una agenda priorizada de manejo. Se estudiaron la composición y estructura de las formaciones vegetales costeras presentes sobre la duna frontal, siendo las especies categorizadas entre nativas y exóticas y por grupo funcional. A partir de la bibliografía consultada se adaptó a las condiciones de una faja costera urbanizada una lista de chequeo para la obtención de un índice de vulnerabilidad a las principales forzantes del sistema, el cual está integrado por cinco conjuntos de variables. A su vez se desarrolló un índice de capacidad adaptativa integrado por variables relativas al nivel y eficacia del manejo implementado, la caracterización del público usuario y la presión que ejerce sobre la duna frontal, la resiliencia ecológica y la presencia de obstáculos dentro del margen de fluctuación sub actual de la línea de costa. Ambos índices fueron cuantificados empleándose la técnica *lista de chequeo* y en conjunto se utilizaron para la evaluación de la vulnerabilidad del sistema costero. Parte de la información relativa al sistema y en particular al público usuario se obtuvo a través de una consulta al cuerpo de Guardavidas empleando un cuestionario del tipo *lista de chequeo*. En contraste con la acotada extensión del sistema costero analizado éste presentó un amplio rango de vulnerabilidad, resultando los componentes vegetal y eólico los de mayor influencia seguidos por el antrópico; indicando el potencial de acciones de manejo de regeneración dunar y dirigidas a cambiar las conductas de los usuarios y al tipo y disposición de la infraestructura asociada para incrementar su capacidad adaptativa. La vulnerabilidad a las principales forzantes del sistema costero analizado presentó un amplio rango debido al bajo valor alcanzado en un sitio, destacándose su variabilidad en relación al contexto global. La tendencia actual del movimiento de la línea de costa determinada a través de la comparación de la posición relativa de tres indicadores de la misma sobre cuatro series temporales de fotos aéreas cubriendo un período de 69 años; permitió trazar una línea de riesgo basada en la relación entre la tasa de retroceso máxima ocurrida y la distancia a la infraestructura presente, mediante el empleo de un sistema de información geográfico.

La información generada develó la coexistencia de diversas tendencias del movimiento de la línea de costa, siendo observados procesos de acreción y erosión persistentes durante el período considerado en determinados sectores de la zona de estudio. Conjuntamente fueron observadas fluctuaciones en la tasa de acreción/erosión que afectaron toda la línea de costa bajo estudio sugiriendo la influencia de procesos geomorfológicos de escala regional; así como otras de menor escala relacionadas a intervenciones puntuales de origen antrópico.

La identificación de sitios prioritarios junto al tipo y volumen de medidas de manejo necesarias resultan factibles de ser empleadas en la conformación de una agenda de manejo de corto y mediano plazo a escala puntual; mientras que la determinación de la evolución reciente de la posición de la línea de costa permite elevar el nivel de manejo a largo plazo y a una escala regional.

*Palabras clave:* GIZC, lista de chequeo, duna frontal, formaciones vegetales, vulnerabilidad, capacidad adaptativa, SIG, línea de costa, fotos aéreas.

# INTRODUCCION

## MARCO TEÓRICO

Las zonas costeras representan menos del 15% de la superficie terrestre del planeta y contienen algunos de los sistemas más diversos y productivos del mundo, presentando variados recursos y servicios de interés científico, económico y social (WCC'93 1995; Bijlsma et al. 1996; Reis et al. 2000; Padmavathy et al. 2010). Esto provoca la convergencia de gran cantidad de actividades, usos y procesos en el espacio costero que resultan atractivos para el hombre al punto que el 70% de la población mundial se concentra en él (Bijlsma et al., 1996). Las diversas presiones generadas han provocado la pérdida de hábitat, cambios en la circulación y flujo de materia y la reducción de la productividad biológica y la biodiversidad; esperándose un incremento substancial de las mismas en las próximas décadas (WCC'93 1995; Bijlsma et al. 1996; IPCC 2014a; IPCC 2014b).

Las zonas litorales son sistemas donde confluyen los medios terrestre y acuático, resultando en ambientes altamente dinámicos donde la energía de las olas y el viento se descarga, transformándolo y generando un proceso evolutivo (Silvester & Hsu, 1993; Brooks & Agate, 2001; de Álava, 2006; Anderson, 2008; Panario et al., 2008). La capacidad de las zonas litorales para absorber la energía constituye un servicio de protección a las tierras adyacentes; destacándose su relevancia en ambientes urbanizados dado que los procesos erosivos implican costos económicos directos en la confrontación de pérdidas materiales e indirectos asociados al deterioro paisajístico y ambiental, lo que justifica la implementación de programas de Gestión Integrada de la Zona Costera (GIZC) en la agenda pública (Reis et al., 2000; Sención, 2010; Bureau of Coastal Engineering, 2013). Teniendo en cuenta que los ingresos por turismo en la zona costera representan el 6 % del PBI nacional (Lorenzo, 2010; Instituto de Promoción de Inversiones y Exportaciones de Bienes y Servicios, 2011) el impacto económico que provoca el deterioro de la zona costera podría tener importantes connotaciones más allá del área implicada. Resulta por ello indispensable el mantenimiento de la calidad paisajística y de la experiencia recreacional, a través de programas de protección de playa, reconstrucción dunar y educación ambiental, promoviendo conductas de uso adecuadas y la replicación de experiencias positivas (Nordstrom et al., 2000; Reis et al., 2000; Brooks & Agate, 2001). Uruguay no es una excepción, residiendo el 69% de su población en la zona costera (Vincent et al., 2007). En el área aledaña al balneario Atlántida (depto. Canelones) ocurre un aumento de las presiones de origen antrópico, dado su marcado perfil turístico y la evolución positiva del número de visitantes y residentes (Fernández et al., 2001; Robayna, 2009).

A su vez es probable un aumento de los efectos negativos asociados al cambio climático (López-Laborde, 1987; ROU et al., 1992; Lorenzo & Teixeira, 1997; Panario & Piñeiro, 1997; Saizar, 1997; López-Laborde & Perdomo, 1999; IPCC, 2001; Nagy et al., 2007; Martino et al., 2008; Panario et al., 2008; Bidegain et al., 2009; Verocai, 2009; SNRCCV, 2010). Por ello requiere la gestión del espacio costero una visión sistémica e integrada (Barragán Muñoz, 1994; Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 1995; WCC'93, 1995; Nordstrom, 1998; Nordstrom et al., 2000; Reis et al., 2000; Dias, 2003).

# ANTECEDENTES

## Zona de estudio

La República Oriental del Uruguay se sitúa entre los paralelos 30°- 35°S y los meridianos 53° – 58° al W de Greenwich sobre la margen norte del Río de la Plata, segundo estuario más grande del continente y que abarca aproximadamente dos tercios de los 700km de línea de costa que presenta el Uruguay (MTOPI-PNUD 1979; SHIN-SHOMA 1989; Wells y Daborn 1998). En la porción exterior del estuario se ubica el área de estudio, involucrando ocho de los 65km de costa canaria (figura 1). Es un área con vocación balnearia que involucra las localidades de Villa Argentina, Atlántida, Las Toscas y Parque del Plata (Km 44-50 ruta Interbalnearia, Canelones), las que conforman una unidad desde el punto de vista fisiográfico, urbanístico y social, centralizándose en Atlántida la mayor parte de los servicios (Medina 2009).



**Figura 1.** Composición de imágenes presentando la ubicación de la zona de estudio.

El área considerada comprende tres arcos de playa de baja pendiente separados por dos afloramientos de rocas gnéicas y graníticas a nivel de playa, ubicados en ambos extremos de la playa Brava de Atlántida. La misma no supera el kilómetro de longitud, presenta una orientación general WSW ( $245^\circ$ ) y un quiebre en la porción Este desde donde se presenta el afloramiento rocoso denominado "Punta Piedras Negras"; a partir de allí y hacia el Este se extiende la playa Edén Rock, segmento de costa aproximadamente rectilíneo ( $N55^\circ$ ) que alcanza el arroyo Solís Chico en la localidad de Parque del Plata (MTOPI-PIUD 1979). Desde el límite Oeste de la playa Brava la línea de costa se extiende con curvatura decreciente conformando la bahía de Santa Rosa que contiene la playa Mansa de Atlántida y la playa de Villa Argentina; para a partir de este punto extenderse de forma rectilínea ( $N65^\circ$ ) (MTOPI-PIUD 1979; López-Laborde 1987). La playa de Villa Argentina se caracteriza por la presencia de una sucesión de barrancas de frente casi vertical que se extienden por una longitud de 3km; con alturas de hasta 17m que disminuyen gradualmente hacia el Oeste, hasta desaparecer en un extenso campo de médanos fijados por monte artificial de pinos y acacias, destacándose la presencia de "cárcavas" de gran tamaño y profundidad. En esta localidad existen dos tipos de erosión, la pluvial que originó las "cárcavas" y la marina, que socava el pie de las barrancas en eventos de tormenta (MTOPI-PIUD 1979; Goso Aguilar et al. 2008).

El límite este de la zona de estudio lo conforma el arroyo Solís Chico y el oeste el balneario el Fortín. Respecto a los límites transversales se considerará la rambla costanera y en su ausencia la ruta interbalnearia como límite terrestre superior. Dadas las limitaciones existentes, se considerará como límite transversal inferior la porción aérea de playa; infiriéndose los procesos de transporte subacuáticos en base a la información bibliográfica disponible.

## Historia Geológica

La costa atlántica y platense uruguaya, presenta una conformación geológica relativamente diversa (Goso Aguilar & Mesa, 2009), constituida por una serie de rocas ígneas y metamórficas antiguas del Basamento Cristalino correspondientes al Proterozoico inferior (2000M.a.) y Cambro-Proterozoico (660-500M.a.) conformando el Zócalo de la Cuenca del Río de la Plata y el escudo Brasiliano las principales formaciones del primer período en el área y la dorsal del sureste Uruguayo-Sur Rio-grandense del segundo (Bossi & Navarro, 1991; MTOP-PNUD, 1979). En la era Cenozoica se producen los primeros registros sedimentarios deposicionales del sur y sureste del Uruguay, presentando en la base los depósitos de la formación Fray Bentos de edad Oligoceno conformando a partir de entonces una secuencia que culmina con la consolidación de la Formación Chuy durante el Pleistoceno; presentándose ambas formaciones de forma extensa, aflorante o sub aflorante a lo largo de la costa atlántica y platense estableciendo la primera un control subacuático y costero mientras la segunda resulta proveedora de sedimentos en los puntos sometidos a erosión (Goso 1965; Goso Aguilar 2004; Goso Aguilar y Muzio 2006).

La conformación actual del Río de la Plata y su zona de influencia presenta una mezcla de rasgos heredados y recientes (Goso Aguilar 2004; Ayup-Zouain 2006). El conjunto sedimentario subacuático del Río de la Plata sometido a la dinámica litoral actual responde a ello (MTOP-PNUD 1979). Las fases deposicionales actuales (suite moderna) que se presentan desde Punta del Tigre hasta las cercanías de Atlántida, son sustituidas por depósitos de arenas y arenas arcillosas que discurren hacia el Este (arenas de playa) alcanzando al balneario Piriápolis (López-Laborde, 1987; Parker & López Laborde, 1989). Según Galzerano et al. (1993) y Muzio & Panario (1990) se distinguen a nivel de playa en las inmediaciones de la zona de estudio dos poblaciones sedimentarias sobre la zona de saca y resaca atribuibles a la existencia de diferentes fuentes de sedimentos (Panario & Gutiérrez, 2006). De acuerdo a Sánchez & Sánchez (1992) y Galzerano et al. (1993) el afloramiento “Granitos de Soca” (Preciozzi 1988) sería precursor de las arenas de la zona, proviniendo parte de las mismas de la cuenca del arroyo Solís Chico. Otra importante fuente proveedora es la Formación Chuy, la cual toma relevancia en las localidades de Villa Argentina y la Floresta (MTOP-PNUD 1979; Goso Aguilar et al. 2008).

## Erosión costera y riesgos geológicos

En los inicios del proceso de ocupación litoral en Uruguay se recurrió al uso de la forestación como medida para fijar los campos dunares, alterando profundamente la dinámica litoral al interferir los flujos de sedimentos entre arcos de playa; colateralmente la urbanización incrementó la escorrentía y el nivel freático (Panario, 2000, 1999; Panario & Gutiérrez, 2006; Rios, 2007). En consecuencia varios puntos del litoral de la comuna canaria han desencadenado procesos erosivos, dirigidos por la acción de las olas y los niveles freáticos (Goso Aguilar, 2004; Goso Aguilar et al., 2008; Goso Aguilar & Mesa, 2009; Panario, 2000). A inicios de la década de los setenta, en respuesta a un fuerte periodo erosivo, la Dirección de Hidrografía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas impulsó la construcción de baterías de espigones como medida paliativa (MTO-PNUD 1979). En la playa Mansa de Atlántida fue implantada entre 1970 y 1971 fueron implantadas tres espigas, añadiéndose dos más entre 1974 y 1975. Tras el éxito obtenido y la continuación y aceleración del proceso erosivo hacia el oeste se construyeron 6 espigones a continuación entre fines de la década del 70 e inicios del 80 (MTO-PNUD 1979); resultando que la carga sedimentaria de la corriente de deriva litoral no resultó suficiente para colmatar los últimos dos espigones. La estructura edilicia “Águila de Atlántida” ubicada detrás del penúltimo espigón fue afectada debiendo ser estabilizada en su base mediante gaviones, en un esfuerzo conjunto entre la Intendencia municipal de Canelones (IMC) y el sector privado realizado en el año 2004. El acantilado sedimentario de más de siete metros (7m) de altura ubicado a continuación, ha tenido un retroceso de más de 11 metros entre los años 1985 y el 2003 (Gutiérrez & Panario, 2006, 2005a). Goso Aguilar et al. (2008) proponen una tasa de retroceso de entre 0,55 y 2,10 metros al año durante el período 2005-2006, sugiriendo una gran variabilidad en la intensidad del proceso, siendo una tasa muy por encima de la observada en otras localidades (Erache 2009). Al otro extremo de la zona de estudio sobre la margen este del arroyo Solís Chico en la localidad de Las Vegas, también fue implantada una batería de espigones en la década del sesenta en respuesta a la erosión de las barrancas (MTO-PNUD 1979). A pesar de lo cual el proceso erosivo continuó activo, retrocediendo durante el período 1995-2006 a una tasa de 1,10m/año, comprendiendo la pérdida de 15.400 metros cúbicos de arena, unos 5,3 metros cúbicos por día (Goso Aguilar et al. 2008). De acuerdo con Goso Aguilar & Mesa (2009) otros procesos que ocurren en la zona de estudio son: la sedimentación dunar provocada por acción eólica que genera esporádicamente depósitos duneiformes sobre ramblas y viviendas de Parque del Plata y Las Toscas, y el anegamiento por afloramiento de los niveles freáticos de los acuíferos libres en la playa Mansa de Atlántida que va en detrimento del atractivo recreacional y paisajístico. Con el fin de bajar el nivel freático aflorante frente la expo-platea, se instaló un colector sub-superficial para el drenaje y bombeo de la napa freática, que desagota junto al espigón próximo.

## Urbanización e infraestructura costera

El proceso de ocupación ha alterado profundamente la dinámica litoral, la fijación de campos dunares mediante la forestación ha interrumpido los flujos de sedimentos entre arcos de playa, acotando la circulación en su porción aérea a nivel de los cabos y desembocaduras de los arroyos (Panario, 2000, 1999; Panario & Gutiérrez, 2006). La impermeabilización asociada produce un incremento en la escorrentía y una disminución en la carga de sedimentos que llegan al mar, mientras los desagües pluviales y cunetas emplazados a nivel de playa interrumpen e inestabilizan al cordón dunar, favoreciendo la acción erosiva de las olas de tormenta al permitir su ingreso con mayor energía (Panario & Gutiérrez, 2006).

En términos de densidad poblacional Canelones ocupa el segundo lugar entre los departamentos costeros (107 habitantes/km<sup>2</sup>) después de Montevideo; y entre los departamentos del interior, presenta el mayor grado de ocupación urbana costera (1.779 hab. km<sup>-1</sup>, 1.113 viv. km<sup>-1</sup>) muy superior al promedio de toda la costa y al del resto de los departamentos respondiendo principalmente a su vinculación con la capital y su empleo como ciudad dormitorio, influencia que se extiende hasta la zona de Atlántida (López-Laborde & Perdomo, 1999; Robayna, 2009). Al año 2004 la población total comprendida entre las localidades de la zona de estudio asciende a 15,540 personas, habiendo presentado un crecimiento promedio en el período 1996-2004 del 20.2% (Robayna 2004). Según las estimaciones de Medina (2009) el proceso de ocupación continuará lentamente, con el desarrollo de emprendimientos puntuales residenciales y turísticos. De acuerdo a los datos del censo poblacional del año 2011 la población de las localidades que comprenden la zona de estudio asciende a 17266 habitantes, la que se incrementa en un 300% durante la temporada estival (INE, 2011).

El área de estudio no presenta problemáticas críticas ni graves conflictos de intereses, habiendo sido considerada como área potencial para la implementación de experiencias piloto en GIZC por el proyecto EcoPlata (López-Laborde & Perdomo, 1999; MTOP-PNUD, 1979).

## Dinámica litoral

### *Viento*

La influencia acentuada del anticiclón subtropical del Atlántico Sur, determina que los vientos dominantes en la región sean del sector noreste (velocidad media 5 m s<sup>-1</sup>), existiendo sobre la costa un patrón estacional. En el semestre cálido (octubre – abril) presentan gran influencia los vientos del sector SE generados por la brisa marina, prevaleciendo en invierno los vientos del SW (velocidad media 8 m s<sup>-1</sup>) durante el pasaje de los frentes fríos (Bidegain et al. 2009).

Respecto al transporte eólico de sedimentos resultan relevantes los vientos de intensidad moderada o superior, correspondiendo los mismos principalmente al cuadrante SW, pudiendo ocurrir la mayor parte del transporte anual en unas pocas horas durante eventos de tormenta (Panario et al. 2008). Dado el comportamiento anual del régimen de vientos y la pluviosidad, son generalmente los meses próximos a los equinoccios (octubre y abril) los que presentan el mayor potencial de transporte (Panario et al. 2008).

### *Oleaje*

La dirección del oleaje más frecuente es del SE (35%) seguida del E (24%), el S (20%), W y SW con <10% y NW, NE y N <5% (Panario et al. 2008). La propagación del mar de fondo que llega desde el Sureste generado por el cinturón depresionario subpolar, junto con el efecto de su refracción sobre la plataforma continental y el oleaje generado por el viento dan como resultante un frente de energía con un ángulo superior a los 30 grados respecto a la línea de costa generando una corriente de deriva litoral en sentido este sobre el tramo de costa Colonia – Punta del Este, que se debilita en el tramo Punta del Este – Cabo Santa María, para tomar una dirección Noreste a partir de Cabo Polonio (MTOPI-PNUD 1979). Este frente de energía es la causa más importante del transporte litoral de sedimentos (López-Laborde, 1987; MTOPI-PNUD, 1979; Ottmann & Urien, 1966; Ottoman, 1967; Panario & Gutiérrez, 2006) y determina un gradiente de energía en el sentido este a oeste, de disipativo a reflectivo en el sentido en que se despliega la espiral del arco de playa; condicionando la distribución espacial granulométrica (Panario & Gutiérrez, 2006). Sin embargo bajo la acción de los fuertes vientos del sector Suroeste se genera una deriva litoral de dirección contraria a la normal y un fuerte oleaje; lo que produce una berma alta capaz de recostar las vías de drenaje contra la costa y orientarlas al este (Gutiérrez 2010), habiendo por lo tanto también una estacionalidad en el patrón de circulación litoral de sedimentos.

## JUSTIFICACIÓN

Se desarrollará una metodología y adecuará una técnica de Lista de chequeo que permita integrar los componentes del sistema, siendo un aspecto novedoso el empleo de esta metodología de evaluación de la vulnerabilidad a pequeña escala y en un sistema urbanizado; generándose información de las condiciones de base y de la evolución histórica reciente de la línea de costa.

Las costas son ambientes particularmente dinámicos y en continuo cambio morfológico en respuesta a varios procesos operando a diversas tasas. La determinación de la evolución geomorfológica reciente permite reconocer las variaciones y su tendencia, siendo necesarios para que la planificación y el manejo sean efectivos (Woodroffe 2007).

La toma de decisiones y definiciones en políticas ambientales requieren de una cuantificación aproximada y sintética de propiedades del sistema ambiental como ser su vulnerabilidad (Williams & Kaputka, 2000), el estado de conservación, la capacidad de resiliencia ecológica y adaptativa (Holling 1973; Woodroffe 2007) y el valor de los servicios ecosistémicos que brinda (Reis et al. 2000; Lozoya et al. 2011). El conocimiento de estas propiedades demanda inversiones en investigación, colecta de datos y su posterior modelaje, las cuales resultan difíciles de implementar en países en desarrollo. La metodología propuesta permite evaluar dichas propiedades del sistema de forma rápida y a un bajo costo.

La incorporación de esta información al proceso de planificación, permite identificar prioridades a corto, mediano y largo plazo a través de la determinación de sectores de manejo prioritario en base a la vulnerabilidad y el riesgo (Reis et al. 2000); haciendo posible la incorporación del manejo adaptativo al programa de gestión ambiental costera, al permitir la detección de discontinuidades, el seguimiento de las medidas implementadas y el desarrollo de rápidas respuestas estratégicas (Davies et al. 1995); que junto a la identificación de factores claves para la implementación de medidas de manejo eficientes con que asistir las políticas y planes de manejo contribuye a la generación de un proceso de GIZC.

El conjunto de la información generada servirá a su vez de base para la evaluación de costos por no intervención y el abordaje futuro de la dimensión social de la problemática; permitiendo que las medidas de ordenación y restauración, junto con las instancias educativas y medidas complementarias de educación a distancia, conformen un todo coherente.

En base a los antecedentes presentados se proponen el siguiente objetivo general y objetivos específicos:

# OBJETIVOS

## Objetivo general

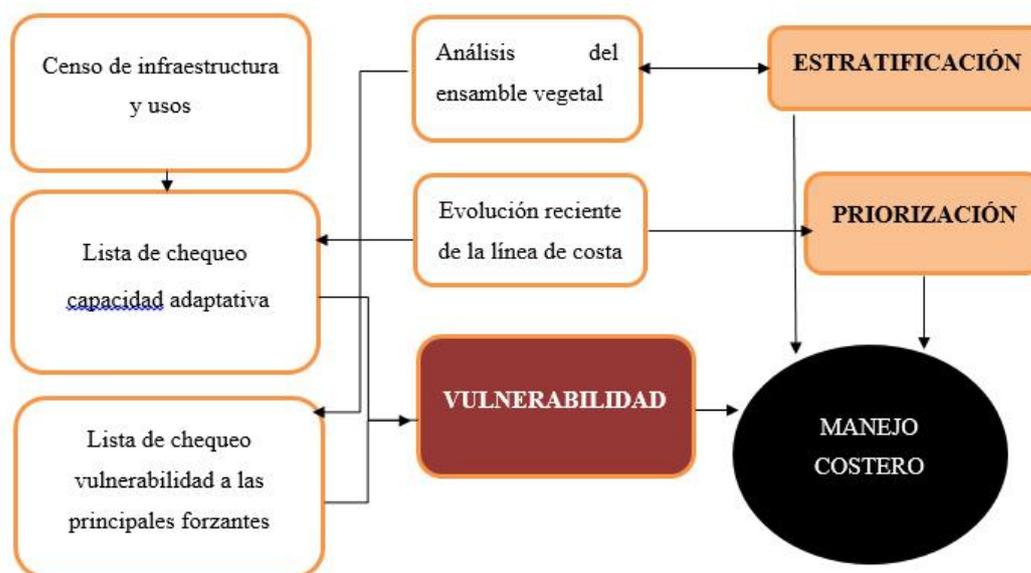
Tender a establecer elementos de diagnóstico del estado de salud y la capacidad adaptativa de los sistemas dunares y playas asociadas de la costa platense.

## Objetivos específicos

1. Ajustar una técnica de lista de chequeo a las condiciones de una faja costera urbanizada (Capítulo 1).
2. Realizar un diagnóstico integral y caracterizar el estado de vulnerabilidad del sistema dunar en un área urbanizada de la costa platense (Capítulo 2).
3. Determinar la tasa de acreción / erosión histórica y máxima observada (Capítulo 3).
4. Brindar recomendaciones para la elección de medidas de regeneración dunar por sitio y pautas para la generación de una agenda de manejo priorizada (Capítulo 4).
5. Proponer un programa de seguimiento (Capítulo 4).

# MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque del trabajo se basa en las pautas dictadas por Barragán Muñoz (1994), Reis et al. (2000), Nordstrom et al. (2000), Aguirre et al. (2001), Panario & Gutiérrez (2006) y Gutiérrez (2010). La estrategia consiste en la puesta a punto de una metodología de fácil y rápida implementación que resuma la condición actual y evolución reciente del sistema costero. La condición actual se determinó efectuando un censo de la infraestructura asociada a la zona de estudio y un diagnóstico mediante dos listas de chequeo: una que valora diversas variables vinculadas a las principales forzantes del sistema y otra su capacidad adaptativa en el sentido expresado por Woodroffe (2007). A partir de la información obtenida con las listas se determinó la vulnerabilidad. En paralelo se realizó un muestreo de las formaciones vegetales presentes en la duna frontal analizándose su composición y estructura, complementándose y contrastándose dicha información con la estratificación y los resultados de las listas de chequeo empleadas. La tendencia evolutiva del sistema costero se calculó a partir de la comparación de la posición de tres indicadores de la línea de costa entre cuatro series de fotos aéreas, cubriendo una ventana temporal de 69,4 años. Los indicadores empleados permiten en conjunto dar cuenta de variaciones del prisma de playa y de la posición relativa de la línea de costa. La priorización de las acciones de gestión se determinó en base a la relación entre la tasa de retroceso máxima observada durante el período de estudio y la distancia entre la línea de costa y la infraestructura. Con el fin de dar soporte al proceso de toma de decisión se efectuó la agrupación de los sitios en base al índice de vulnerabilidad a las principales forzantes y se estimó el conjunto de medidas de manejo necesarias. A continuación se presenta un esquema conceptual del trabajo realizado:



**Figura 2.** Mapa conceptual del trabajo realizado.

## MATERIALES

En el presente estudio se utilizó un geoposicionador satelital Garmin X-trail, una cámara de fotos digital para el registro fotográfico, un cuaderno de campo y una cuerda de 20 metros con marcas cada medio metro para la realización del muestreo biológico de punto y una computadora. Para elaborar el sistema de información geográfico se empleó el programa ArcGis 10, mientras que para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa Photoshop CS5 Extended v12.0. Se emplearon ocho imágenes aéreas del año 1937 a escala 1:7.000; cuatro correspondientes al año 1966 y una al año 1967 a escala 1:20.000; tres correspondientes al año 1980 a escala 1:20.000 y ocho correspondientes al año 2006 a escala 1:5.000.

## DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL CORDÓN DUNAR

### Estratificación, censo de infraestructura y muestreo vegetal

Se realizó una foto-interpretación mediante el empleo de fotografías aéreas obtenidas por la IMC con fecha nueve de setiembre del 2006 (1:25.000 en formato digital). Bajo un criterio geomorfológico, se subdividió la zona de estudio en tres arcos de playa: Ensenada de Santa Rosa (Mansa), Brava y Edén Rock y a partir de dichas imágenes se censó la infraestructura de estacionamientos y accesos tanto regularizados como irregulares asociada a la zona de estudio (Curr et al., 2000; Perrow & Davy, 2002).

Se efectuó una salida de campo exploratoria el día 16 de marzo del 2010 con el fin de establecer una estratificación de la zona de estudio, para el posterior desarrollo del muestreo del ensamble vegetal ubicado sobre la duna frontal, realizando una caminata por toda la zona de estudio en el sentido Este – Oeste, se interpretó en términos geomorfológicos y ecológicos el paisaje, adquiriéndose una visión general de la integridad del sistema dunar. Se realizó a la vez un censo de las infraestructuras y usos asociados a la zona de estudio a nivel de playa.

La composición y estructura de las formaciones vegetales costeras se evaluó el 17 de marzo del 2011 mediante un muestreo de punto (Intersección de línea) empleando una cuerda de 20 metros con marcas cada medio metro (Braun-Blanquet, 1979; Brown D., 1954; Kent & Coker, 1992). Se ubicaron y georreferenciaron tres transectas al azar sobre la duna frontal en cada sitio, para ello se dividió la longitud de los mismos entre 20 numerándose las unidades obtenidas en el sentido Este – Oeste; tras lo cual fueron sorteadas generando números aleatorios en una planilla de cálculo. La sistemática y taxonomía de las especies vegetales registradas fueron revisadas en [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org).

## Tipos funcionales

Según la clasificación propuesta por García-Mora et al. (1999) y tomando como referencia los trabajos de Lombardo (1982, 1983, 1984), Seeliger (1992), Cordazzo & Seeliger (1995), Lahitte (1997), Silva et al. (2004) y Fagúndez & Lezama (2005), a las especies vegetales registradas le fue asignado un tipo funcional en base al grado de adaptaciones al medio costero; considerándose las adaptaciones a los factores de estrés ambiental detallados por Ariza & Belmonte (1985).

Se clasifican como Tipo I a plantas generalmente herbáceas con desarrollo del ciclo vegetativo invernal que presentan tamaños medianos y raíces débiles sin ninguna adaptación a las condiciones de exposición a las zonas costeras; siendo incapaces de soportar el enterramiento profundo.

Las especies vegetales Tipo II comprenden herbáceas hasta arbustivas perennes, que a pesar de sus adaptaciones, resultan incapaces de sobrevivir a enterramientos profundos. Las plantas Tipo II y III tienen en común la presencia de características morfológicas interpretadas como respuesta a la sal, el enterramiento o la abrasión, tales como raíces suculentas, pubescencia o cutículas reforzadas.

Las plantas Tipo III incluyen arbustivas y herbáceas perennes o de ciclo vegetativo estival, con notables adaptaciones en raíz, tallo, hoja y frutos; siendo capaces de resistir el sepultamiento profundo por largos períodos. La presencia de mecanismos de dispersión a través del medio marino es exclusiva de este tipo funcional y responden a la ventaja de dispersarse a través de semillas, frutos o unidades vegetativas liberadas por la erosión dunar.

## Análisis del componente vegetal

### *Complejidad*

El análisis de complejidad permite estimar la diversidad alfa respecto a la obtenida en el muestreo, calculándose como el porcentaje de especies observadas respecto al número predicho por los estimadores a partir de la asíntota resultante de la extrapolación de la curva de acumulación de especies (Colwell et al. 2004). Fueron empleados tanto estimadores basados en la incidencia (ICE) como en la abundancia (ACE, Chao1, Chao2, Jack1, Jack2), realizándose el análisis mediante el software EstimateS (Colwell 2005) y calculándose para cada arco de playa y cada uno de los sitios estudiados.

### *Estructura*

La estructura del ensamble de especies vegetales presentes en cada sitio se evaluó en base a la equitatividad mediante el índice de Pielou (Pielou 1966):  $J' = H' / \log(S)$ ; el cual toma valores entre cero y uno correspondiendo la unidad a una equitatividad máxima. Con el fin de evaluar el grado de adaptación del ensamble a la dinámica costera, se calculó el porcentaje de ocurrencia correspondiente a cada tipo funcional por sitio.

### *Diversidad Alfa y Beta*

El reemplazo de especies se estudió mediante el software Partition 3.0 (Veech & Crist, 2009) contemplándose tres niveles: réplicas (N=30), sitios (N=10) y playas (N=3). Dado que el arco de playa Mansa cuenta con cuatro sitios mientras que los restantes con tres, el análisis se efectuó de manera no - balanceada. El programa brinda los valores de diversidad alfa y beta a cada nivel junto con la significancia estadística dada por un p-valor determinado en base a permutaciones (por defecto 1000).

### *Variabilidad del ensamble de especies*

Con la finalidad de determinar la variabilidad del ensamble de especies a distintos niveles, se efectuaron a partir de la matriz de datos de abundancia de especies por muestra, dos análisis ANOSIM utilizando el software Primer 5 (Primer-e 2001). Para ello se calculó previamente la matriz de similitud utilizándose como medida de similitud el coeficiente Bray-Curtis y dado que se consideró a la abundancia como relevante, no se efectuaron transformaciones de la misma. Para el primer análisis se consideró a los sitios de muestreo (diez sitios) como factor y para el segundo el arco de playa (tres arcos), determinándose la significancia estadística mediante un test de permutación incluido en el paquete informático.

### *Especies indicadoras*

La identificación de especies indicadoras del grado de vulnerabilidad de acuerdo a la categorización propuesta por Ley Vega de Seoane et al. (2007) y la identificación de especies que pudieran presentar una alta fidelidad a algún sitio se efectuó mediante el índice indicator value (IndVal) (Dufrene & Legendre, 1997); siendo computada con el software PC-ORD (McCune & Mefford, 1999) el cual brinda un valor de significancia estadística del índice basado en un análisis de Monte Carlo.

### *Asociaciones Biológicas*

Con el fin de explorar los datos en busca de asociaciones de especies a partir de la matriz de datos de presencia - ausencia por réplica se generó la matriz de similaridad del coeficiente de distancia Jaccard (S7), en base a la cual se realizaron análisis de agrupamiento y de escalamiento multidimensional (MDS). La significancia estadística de los nodos del agrupamiento se obtuvo mediante el test de permutación SIMPROF incluido en el paquete informático Primer-E v.6 (Primer-e 2012). El ajuste de las representaciones en dos y tres dimensiones obtenidos mediante el análisis MDS se determinó con el coeficiente de estrés 1 de Kruskal (Kruskal 1964) de acuerdo a la escala propuesta por el autor (Borg & Groenen, 2005).

## Vulnerabilidad

La vulnerabilidad del sistema costero se determinó mediante la técnica de lista de chequeo, la cual es empleada en varias ramas de la ciencia habiéndose desarrollado para evaluar campos de dunas desde hace más de 20 años (Bodéré et al. 1991; Williams et al. 1994; Davies et al. 1995; Laranjeira et al. 1999; Williams et al. 2001; Silva et al. 2004; Tabajara et al. 2005; Martínez et al. 2006; Ley Vega de Seoane et al. 2007). Permite integrar diversos componentes del sistema dunar y resumir la información en un índice, mejorando los niveles de objetividad en la determinación de la vulnerabilidad dunar y brindando una base útil para el manejo proactivo del ambiente costero. Consiste en la calificación de variables entre dos a cuatro estados posibles, puntuándose de 0 (menos vulnerable) a 4 (más vulnerable) dichos estados y resultando el valor del índice del cociente entre la suma de los puntos obtenidos para cada variable respecto al valor máximo posible del conjunto ( $4 \times N^{\circ}$  variables). En consecuencia los índices se expresan en un rango de 0 a 1, siendo uno el valor máximo posible, resultando que un incremento del valor del índice representa un incremento de la vulnerabilidad del sistema.

Se desarrollaron dos listas de chequeo una para evaluar la vulnerabilidad del sistema costero frente a las principales forzantes (IVPF) y la otra su capacidad adaptativa (ICA), calculándose la vulnerabilidad como el promedio de ambos índices:

$$IV = (IVPF + ICA) / 2$$

## *Calificación*

Las variables de las listas de chequeo fueron calificadas a través de dos instancias, algunas directamente en la salida de campo y aquellas que requieren de una mayor vinculación al sitio se obtuvieron del cuerpo de Guardavidas, recurriéndose para ello a un cuestionario del tipo lista de chequeo realizado durante los días 26 y 27 de marzo del 2012. A través del análisis de la evolución de la línea de costa y el muestreo biológico fueron calificadas algunas de ellas, apoyando al proceso de valorización de los componentes del efecto antrópico empleando registros fotográficos realizados durante un período de 4 años y recurriéndose a la experiencia del cuerpo de Guardavidas.

## *Ordenamiento de sitios en base a los sub índices de vulnerabilidad*

Para la elaboración de una agenda de manejo resulta necesario evaluar los tipos y envergadura de las medidas que se requieren implementar y es con este fin que se agruparon los sitios de acuerdo a su semejanza respecto a los sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes obtenidos en el relevamiento realizado el 26 de marzo del 2012. Para ello se generó una matriz de semejanza en base a la distancia euclidiana (no se normalizaron ni transformaron dado que se expresan en una misma escala) y se efectuó un análisis de agrupamiento (complete linkage) empleándose el paquete informático Primer-E v6 (Primer-e 2012) junto con la rutina SIMPROF para testear la significancia estadística de las agrupaciones generadas; asistiéndose el proceso mediante un análisis de componentes principales (PCA).

# EVOLUCION HISTÓRICA DE LÍNEA DE COSTA Y PRIORIZACIÓN EN BASE A LA TASA DE EROSIÓN

Con el fin de facilitar la elaboración del diagnóstico y la planificación se desarrolló un sistema de información geográfico (SIG) mediante el software ArcGis 10.0 donde se integró la información pertinente; permitiendo la plataforma visualizar de forma integral la información presentando el mayor potencial de soporte para el proceso de toma de decisión (Gutiérrez & Panario, 2005a; Shanmugam & Barnsley, 2002; Vieira Rocha, 2000).

La tendencia relativa del movimiento de la línea de costa se obtuvo a partir de la variación en la posición de un registro aproximado de la misma entre una serie temporal de fotos. Para ello se emplearon imágenes aéreas obtenidas por la IMC, el servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea (SSRFAU) y el Servicio Geográfico Militar (SGM) (serie años 1937, 1966, 1980 y 2006) presentándose en la tabla 1 los metadatos de la cartografía y sensores remotos empleados.

Se tomó como base de geo-referenciación el relevamiento hecho por la IMC el nueve de setiembre del año 2006; realizándose ajustes en la zona de interés a partir de puntos de referencia obtenidos mediante un dispositivo GPS. Siguiendo el procedimiento establecido por Gutiérrez y Panario (2005b), se fueron referenciando las fotos inmediatas anteriores (creándose una cobertura auxiliar de puntos de geo-referenciación) a partir de dibujar objetos más o menos persistentes a través de los años, como calles, trillos, construcciones y estructuras geomorfológicas. Con esta metodología, se logró referenciar toda la serie de imágenes sobre la misma base cartográfica, minimizando así las deformaciones y errores en términos comparativos entre las mismas.

Las imágenes a escala 1:20.000 una vez digitalizadas fueron recortadas antes de ser geo-referenciadas, de este modo se evitaron deformaciones generales producto del ajuste en zonas particulares, empleándose para ello los programas Photoshop CS5 Extended v12.0 y ArcGis 10. Basados en los criterios propuestos por Boak & Turner (2005) se escogieron diversos *proxy* indicadores de la línea de costa de acuerdo a la capacidad de identificación de los mismos y a las características de cada sitio (Boak & Turner, 2005; Gutiérrez, 2010). Los indicadores de línea de costa empleados fueron: afloramiento de la napa freática ("GWEP" Ground water exit point); escarpas de erosión ("ES" Erosion scarp) y Línea de marea alta previa ("PHWM" Previous high tide high water marck). Para resaltar los indicadores de línea de costa se empleó la herramienta *stretching* en base a *Maximum-Minimum* o *Standard deviation* dependiendo de con cual se destacaran mejor en cada imagen. La rampa de color utilizada fue multicolor invirtiéndose la misma en caso de que así se destacaran mejor los indicadores.

La tendencia de la línea de costa se calculó a partir de las variaciones del polígono de playa (área) en cada una de las series temporales, tomando como límite continental la línea de referencia rambla / infraestructura edilicia digitalizada y como externo cada uno de los indicadores de línea de costa. La escala empleada para el dibujo de la línea de costa fue de 1:3.000, mientras que para el dibujo de la línea rambla/infraestructura, la determinación de la distancia de cada indicador de línea de costa entre las series temporales, así como de la longitud lineal de cada sitio y la recta de intersección entre sitios se empleó una escala de 1:500. Para el cálculo de la tasa de acreción / erosión las fechas en que fueron tomadas las imágenes fueron decimalizadas.

Para la valoración de los resultados fueron empleados tres índices de relativización del balance (retroceso - avance) de la línea de costa desarrollados por Gutiérrez (2010):

**Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (IG/PP):** Construido a partir de relativizar el valor estimado por la tendencia de ganancia - pérdida en metros cuadrados de playa por año, mediante dividir esa magnitud por los metros lineales de línea de costa (o sea establecer la pérdida/ganancia en m<sup>2</sup> por metro lineal). A estos efectos se empleó la longitud de la línea de costa obtenida a partir de las imágenes del año 2006, usando el *proxy* PHWM.

**Índice de Diferencia con la Mayor Superficie de Playa Anterior (IDMaSPA):** Construido mediante calcular el porcentaje de diferencia entre el registro de mayor expresión de superficie que cada playa ha tenido (considerando toda la serie relevada) y su superficie en el registro más reciente.

**Índice de Diferencia con la Menor Superficie de Playa Anterior (IDMeSPA):** Construido mediante calcular el porcentaje de diferencia entre el registro de menor expresión de superficie que cada playa ha tenido (considerando toda la serie relevada) y su superficie en el registro más reciente.

**Tabla 1.** Metadatos de las imágenes aéreas utilizadas para cada arco de playa y por sitio estudiado.

Fecha	Fuente	Escala original	Edén Rock				Brava			Mansa			
			1	2	3	3b	1	2	3	1	2	3	4
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000											*
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000							*			*	
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000											
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000			*	*							
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000			*				*				
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000											*
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000										*	
10/04/1937	SSRFAU	1:7.000										*	*
22/03/1966	SGM	1:20.000		*									
22/03/1966	SGM	1:20.000											
22/03/1966	SGM	1:20.000	*		*								
22/03/1966	SGM	1:20.000											
20/05/1967	SGM	1:20.000										*	
19/03/1980	SSRFAU	1:20.000			*								
19/03/1980	SSRFAU	1:20.000						*					
19/03/1980	SSRFAU	1:20.000				*							*
09/09/2006	IMC	1:5.000										*	
09/09/2006	IMC	1:5.000										*	
09/09/2006	IMC	1:5.000				*							
09/09/2006	IMC	1:5.000			*	*							
09/09/2006	IMC	1:5.000			*								
09/09/2006	IMC	1:5.000											*
09/09/2006	IMC	1:5.000											*

Totales 3 4 7 8 6 5 6 6 6 8 7

\* Imagen parcial del sitio

Abreviaturas: IMC: Intendencia Municipal de Canelones; SGM: Servicio Geográfico Militar; SSRFAU: Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales de la Fuerza Aérea Uruguaya.

Con el fin de apoyar el proceso de gestión a través de la priorización en base al riesgo de erosión, se determinó el tiempo de afectación potencial de la infraestructura por sitio. Para ello se calculó el retroceso máximo observado en cada sitio como el valor promedio de veinte mediciones de distancia entre dos posiciones de un indicador de costa correspondientes a dos series fotográficas sucesivas; efectuándose esto para los tres indicadores de costa empleados. Posteriormente se estableció la relación entre la tasa de retroceso máxima observada y la distancia a la infraestructura, dando como resultado el tiempo necesario para que sean afectadas en base al peor escenario observado.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## CAPÍTULO 1: AJUSTE DE LAS LISTAS DE CHEQUEO A LAS CONDICIONES DE UNA FAJA COSTERA URBANIZADA.

### *Índice de vulnerabilidad del sistema costero frente a las principales forzantes (IVPF)*

La lista de chequeo para el cálculo del IVPF se basa en los trabajos de Bodéré et al. (1991), Davies et al. (1995) y Martínez et al. (2006) resultando el trabajo de éste último una actualización y adecuación del trabajo del primero. La lista comprende cinco sub conjuntos de variables que evalúan la condición geomorfológica del sistema dunar (ICG), influencia marina (IIM), influencia eólica (IIE), condición de la vegetación (ICV) y presión antrópica (IPA); la evaluación realizada de esta forma permite distinguir qué componentes del sistema influyen en mayor medida en su vulnerabilidad. Las listas de chequeo realizadas por Bodéré et al. (1991) y Martínez et al. (2006) estaban confeccionadas para la evaluación de sistemas costeros no urbanizados por lo que se realizaron modificaciones en base a la fotointerpretación y las observaciones efectuadas durante la salida exploratoria. Comparando la lista de Martínez et al. (2006) con la generada en el presente trabajo, de las 57 variables consideradas por éste, 6 fueron eliminadas y 28 conservadas, mientras que 23 son distintas totalizando 51 variables. De las variables consideradas por Davies et al. (1991) 8 fueron conservadas y 6 modificadas. La tabla 2 presenta la lista de variables utilizada para el cálculo del IVPF que conforma parte de la información recabada para el diagnóstico de fajas costeras urbanizadas en el contexto de esta tesis.

El valor del IVPF se obtuvo del promedio de los cinco sub índices:

$$IVPF = (ICG + IIM + IIE + ICV + IPA) / 5$$

**Tabla 2.** Lista de variables y su descripción por índice parcial que compone al índice de vulnerabilidad a las principales forzantes. Se destacan en *itálica* aquellas variables obtenidas del cuerpo de Guardavidas.

Índice parcial	Variables		Estados
Condición geomorfológica del sistema dunar (ICG)	1	Ancho de la duna Iria como porcentaje del sistema dunar activo	5
	2	Si hay cordones dunares paralelos, número	5
	2.1	Si hay barranca	2
	2.2	Si duna apoyada contra barranca	2
	3	Altura del terreno por encima de marca de tormenta	3
	4	Grado de fragmentación del sistema dunar	3
	5	Granulometría de la ladera a barlomar de la duna primaria	5
	6	Control estructural de la playa	2
	7	Afloramiento de materiales consolidados	2
Influencia Marina (IIM)	1	Estado modal de la playa	3
	2	Exposición costera al mar de fondo predominante	3
	3	<i>Número de barras arenosas sumergidas o emergentes</i>	3
	4	Ancho de la playa seca (metros)	5
	5	Superficie relativa de los cortes en la duna primaria debidos al oleaje	5
	6	Porcentaje de la longitud de la duna primaria con escarpes de erosión debidos al oleaje	5
	7	Granulometría del sedimento en la playa seca	3
	8	Afloramiento de materiales consolidados	2

**Tabla 2.** Continuación.

Índice parcial	VARIABLES		Estados
Influencia Eólica (IIE)	1	Aporte de sedimentos a la duna primaria	3
	2	Porcentaje de la duna primaria ocupado por cubetas de deflación	5
	3	Número de pasillos de deflación sobre la duna primaria cada cien metros	5
	3.1	Si hay pasillos de deflación: profundidad como porcentaje de la altura de la duna primaria	4
	4	Proporción de la superficie de playa seca cubierta por materiales no transportables por el viento	3
	5	Presencia de dunas transgresivas	2
	6	Presencia de napa aflorante	2
	7	Angulo del vector SW respecto a la línea de costa	3
	8	Porcentaje del borde a barlomar cubierto por dunas embrionarias	5
Condición de la Vegetación (ICV)	1	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo III	3
	2	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo II	3
	3	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo I	3
	4	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies exóticas	3
	4.1	Porcentaje de la duna primaria cubierta por especies exóticas	4
	5	Porcentaje de especies Tipo I, II y exóticas en los primeros cien metros a sotamar de la duna primaria	5
	6	Porcentaje de plantas con raíces expuestas en ladera de Barlomar de la duna primaria	5
	7	Porcentaje de plantas con evidencia de daño físico en los primeros cien metros a sotamar de la duna primaria	5
Presión Antrópica (IPA)	1	<i>Intensidad de uso de la duna frontal</i>	3
	2	<i>Carga de usuarios</i>	3
	3	Dificultad de acceso	3
	4	Facilitación de acceso	3
	5	<i>Tránsito de vehículos sobre el sistema dunar activo</i>	3
	6	<i>Tránsito de vehículos sobre la playa seca</i>	3
	7	Pasillos de deflación de origen antrópico sobre la duna primaria cada cien metros	5
	7.1	Anchura de los pasillos de deflación de origen antrópico	4
	7.2	Profundidad de los pasillos como porcentaje de la altura de la duna primaria	4
	8	Porcentaje de la superficie del campo dunar ocupada por residuos sólidos urbanos	5
	9	<i>Extracción de áridos</i>	3
	10	<i>Frecuencia de limpieza de la playa</i>	3
	10.1	<i>Tipo de limpieza</i>	2
	11	Afectación del sistema dunar activo ocupado por infraestructuras permanentes	3
12	Afectación del sistema dunar activo ocupado por infraestructuras temporales	3	
13	Porcentaje de la duna frontal sometida a actividades	5	
	14	Presencia de baños químicos	3

### *Índice de Capacidad Adaptativa del sistema costero (ICA)*

El conjunto de variables que componen al índice se determinó en base a los trabajos de Davies et al. (1995); Laranjeira et al. (1999) y Williams et al. (2001); comprendiendo 56 variables agrupadas en seis sub conjuntos: erosión dunar (ED), acreción dunar (AD), condición de la vegetación (ICV), obstáculos dentro del área de fluctuación actual y sub actual (O), caracterización del público usuario y presión de uso (PUP) y medidas de mantenimiento, protección reciente y eficacia (MPE) (ver tabla 3). Este índice resulta de la adecuación de varias de las variables propuestas por los autores e inclusión de nuevas, bajo una perspectiva que integra factores de origen antrópico a la capacidad de resiliencia del sistema; de modo que con Davies et al. (1995) se comparten 5 variables mientras que 8 fueron modificadas; con Laranjeira et al. (1999) se comparten 6 y otras 6 fueron modificadas; con Williams et al. (2001) 3 son compartidas y 7 modificadas; mientras que otras 21 variables fueron incluidas.

El valor del ICA resulta del promedio del valor obtenido en los sub conjuntos:

$$ICA = (ED + AD + ICV + O + PUP + MPE) / 6$$

**Tabla 3.** Lista de variables empleadas en el cálculo del índice de capacidad adaptativa. Se destacan en cursiva aquellas calificadas en base a la información recabada del cuerpo de Guardavidas.

Índice parcial	Variables		Estados
Erosión dunar (ED)	1	Porcentaje de dunas frontales cortadas por el mar	5
	2	Altura del corte de la duna como porcentaje de su alto	5
	3	Marcas de sobre flujos marinos recientes (Overwashes)	2
	4	Brechas activas en la cara a barlomar del cordón dunar	3
	5	Escapes de arena por viento activos (Blowout)	2
	6	Volumen de arena volando tierra adentro del sistema	3
	7	Perfil de playa	6
Acreción dunar (AD)	1	Presencia de depósitos nuevos y dunas embrionarias	3
	2	Brechas con dunas nuevas	3
	3	Sobre flujos marinos con dunas nuevas	3
Condición de la Vegetación (ICV)	1	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo III	3
	2	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo II	3
	3	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies tipo I	3
	4	Presencia en la ladera a barlomar de la duna primaria de especies exóticas	3
	4.1	Porcentaje de la duna primaria cubierta por especies exóticas	4
	5	Porcentaje de especies Tipo I, II y exóticas en los primeros cien metros a sotamar de la duna primaria	5
	6	Porcentaje de plantas con raíces expuestas en ladera de Barlomar de la duna primaria	5
7	Porcentaje de plantas con evidencia de daño físico en los primeros cien metros a sotamar de la duna primaria	5	
Obstáculos dentro del área de fluctuación actual y sub actual (O)	1	Rambla	2
	2	Edificaciones	2

**Tabla 3.** Continuación.

Índice parcial	Variables		Estados
Caracterización del público usuario y presión de uso (PUP)	1	<i>Vandalismo</i>	3
	2	<i>Recepción del público usuario de la información</i>	3
	2.1	<i>Cambio de conductas nocivas al medio costero</i>	3
	2.2	<i>Detalle cambios positivos y conductas nocivas prevalecientes</i>	1
	3	<i>Público usuarios</i>	3
	4	<i>Actividades que se desarrollan sobre la duna frontal</i>	1
	4.1	<i>Porcentaje de la duna frontal sometida a las mismas</i>	5
	5	<i>Número de visitantes diarios en: Diciembre</i>	4
	5.1	<i>Primera quincena de Enero</i>	4
	5.2	<i>Segunda quincena de Enero</i>	4
	5.3	<i>Primera quincena de Febrero</i>	4
	5.4	<i>Segunda quincena de Febrero</i>	4
	5.5	<i>Semana de Turismo</i>	4
Medidas de mantenimiento, protección reciente y eficacia (MPE)	1	<i>Frecuencia de limpieza de la playa</i>	3
	1.2	<i>Tipo de limpieza</i>	2
	2	<i>Origen de la basura</i>	2
	3	<i>Vigilancia y mantenimiento</i>	4
	4	<i>Conflictos de uso</i>	4
	5.1	<i>Delimitación de usos del espacio costero</i>	4
	5.2	<i>Eficacia / Fiscalización de la distribución de usos</i>	4
	5.3	<i>Actor responsable</i>	1
	6	<i>Estacionamiento regularizado</i>	4
	6.1	<i>Eficacia / Fiscalización del Estacionamiento</i>	4
	7	<i>Conducción sobre dunas</i>	4
	7.1	<i>Eficacia / Fiscalización de la conducción sobre dunas</i>	4
	8	<i>Accesos bajo manejo</i>	4
	8.1	<i>Facilitación de acceso</i>	3
	8.2	<i>Eficacia de la facilitación del acceso para proteger el sistema dunar activo</i>	4
	8.3	<i>Eficacia de la facilitación del acceso en canalizar a los usuarios</i>	4
	9	<i>Porcentaje del área con acceso restringido</i>	4
	10	<i>Control de actividades sobre la duna primaria</i>	4
	11	<i>Si son necesarias medidas de recuperación: Trampas de arena</i>	3
	11.1	<i>Eficacia de las trampas de arena</i>	3
	11.2	<i>Porcentaje de la cobertura de la implantación de especies vegetales fijadoras</i>	4
12	<i>Carteles de información</i>	4	
12.1	<i>Eficacia de la cartelería informativa</i>	3	

## CAPÍTULO 2: DIAGNÓSTICO INTEGRAL Y CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DUNAR EN UN ÁREA URBANIZADA.

### Estratificación

En la tabla 4 y la figura 3 se presenta el resultado de la estratificación realizada, el número de unidades de muestreo (UM) por sitio y sorteadas junto con el esfuerzo de muestreo realizado. Se identificaron tres arcos de playa y tras su estratificación resultaron diez sitios, presentando los arcos de playa Edén Rock y Brava tres sitios con 360 puntos de muestreo, mientras que el arco de playa Mansa presentó cuatro sitios con 480 puntos de muestreo; totalizando el esfuerzo 1200 puntos cubriendo una extensión de 600 metros. El sitio tres del arco de playa Edén Rock se subdividió en dos partes como consecuencia de la cobertura parcial de las imágenes aéreas del año 1937. El arco de playa Edén Rock presenta la mayor longitud lineal de la zona de estudio (5325m), siendo a su vez el sitio tres el de mayor longitud de la zona de estudio (3606m), mientras que los restantes sitios presentan longitudes inferiores a los mil metros. El arco de playa Brava es el más corto de la zona de estudio (861m) siendo su sitio dos el de menor extensión (129m) y presentando los restantes una longitud inferior a los cuatrocientos cincuenta metros. El arco de playa Mansa presenta la segunda mayor extensión de la zona de estudio (4396m), donde los sitios uno y dos presentan extensiones inferiores a los cuatrocientos metros y los restantes sitios superiores a los mil quinientos.

**Tabla 4.** Estratificación de la zona de estudio número de unidades de muestreo (UM) y puntos de muestreo por arco de playa a razón de tres réplicas de cuarenta puntos cada una.

Arco de Playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
Sitio	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Longitud (m)	945	774	3606	314	129	418	374	337	1500	2185
Número de UM	47	38	180	15	6	20	18	16	75	109
UM sorteadas	8, 16, 33	6, 15, 28	98, 110, 141	5, 12, 13	1, 4, 6	6, 12, 18	2, 4, 13	12, 13, 14	8, 10, 15	7, 33, 49
Puntos de muestreo	360			360			480			



**Figura 3.** Esquema de la estratificación realizada en la zona de estudio. La playa Edén Rock presentó tres sitios (el tercer tramo se subdividió en dos partes 3a y 3b) al igual que la playa Brava y la Mansa cuatro. Imagen tomada y modificada de Google Earth.

## Censo de infraestructura y usos

En la tabla 5 se presentan los resultados del censo de infraestructura por sitio. En cuanto a los accesos regularizados el arco de playa Mansa presentó la mayor cantidad con 17, seguido por el arco de playa Edén Rock con ocho y el arco de playa Brava con cuatro. Respecto a la densidad de los mismos el sitio 2 del arco de playa Mansa presentó la mayor observada con un valor de 1,8 accesos regularizados cada cien metros, mientras que los sitios 2 y 3 del arco de playa Brava presentaron una densidad de 0,8 y 0,7 respectivamente; los sitios 1 y 3 del arco de playa Mansa 0,5 y los sitios 2 y 3 del arco de playa Edén Rock 0,3 y 0,2 respectivamente. Los sitios 4 del arco de playa Mansa y 1 del arco de playa Edén Rock no presentaron infraestructura de acceso. Respecto al número de acceso irregulares, el arco de playa Edén Rock presentó la mayor cantidad (N=78) seguido del arco de playa Mansa (N=39); mientras que el arco de playa Brava presentó la menor cantidad (N=21). Al relativizar el número de accesos irregulares respecto a la longitud lineal de cada sitio, el arco de playa Brava presentó la mayor densidad comprendida en un rango de 1,9 a 3,9 accesos irregulares cada 100 metros, seguido del arco de playa Edén Rock con un rango de 0,9 a 1,6 y del arco de playa Mansa con un rango de 0,1 a 2,3.

Respecto a las plazas de estacionamientos se denota una alta variabilidad a lo largo de la zona de estudio así como en su densidad, relativo al número de accesos regularizados por sitio. El arco de playa Edén Rock presentó la mayor área de estacionamientos con una superficie de 13.477m<sup>2</sup> y capacidad de 933 plazas aproximadamente, seguido por el arco de playa Mansa con 11.002 m<sup>2</sup> y 815 plazas y el arco de playa Brava con 6.631 m<sup>2</sup> y 380 plazas aproximadamente. Respecto a la densidad de plazas de estacionamiento, el sitio 2 del arco de playa Mansa presentó la mayor de la zona de estudio con 75 plazas cada 100 metros, seguido en orden decreciente por los sitios 3 y 1 del arco de playa Brava con 52 y 45 plazas/100m respectivamente, el sitio 3 del arco de playa Mansa con 36 plazas/100m, los sitios 1 y 3 del arco de playa Edén Rock con 30 y 18 plazas/100m respectivamente; el sitio 2 del arco de playa Brava con 16 plazas/100m, el sitio 2 del arco de playa Edén Rock con 2 plazas/100m y por último el sitio 4 del arco de playa Mansa el cual no presenta infraestructura de estacionamiento. El número de plazas de estacionamiento relativo al de bajadas regularizadas asociadas por sitio, resulta altamente variable a largo de la zona de estudio. El sitio 1 del arco de playa Brava presenta 142 plazas por bajada regularizada, seguido en orden decreciente por el sitio 3 del mismo arco con 108 plazas/bajada reg., el sitio 3 del arco de playa Edén Rock con 90 plazas/bajada reg. y el sitio 3 del arco de playa Mansa con 66 plazas/bajada reg., mientras que los restantes sitios presentaron densidades inferiores a las cuarenta plazas por acceso regularizado a excepción del sitio 1 del arco de playa Edén Rock que presentó 286 plazas y ningún acceso regularizado asociado y el sitio 4 del arco de playa Mansa el cual no presentó infraestructura de estacionamiento ni de acceso.

En relación a los paradores el arco de playa Edén Rock presentó un total de tres todos ubicados en el sitio 3, el arco de playa Brava presentó uno ubicado en el sitio 3, mientras que el arco de playa Mansa dos en el sitio 2 y otros dos en el sitio 3. Respecto a los desagües, el arco de playa Edén Rock presentó diez, concentrándose la mayoría de los mismos en el sitio 3, en el arco de playa Brava se observaron tres desagües mientras que en el arco de playa Mansa se observaron catorce distribuidos en su mayoría entre los sitios 3 y 4.

**Tabla 5.** Resultados del censo de infraestructura por sitio en los diferentes arcos de playa estudiados.

	Edén Rock			Brava			Mansa			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Longitud lineal (m)	945	774	3606	314	129	418	374	337	1500	2185
<b>Infraestructura:</b>										
Accesos irregulares	15	7	56	8	5	8	1	1	34	3
Accesos irregulares cada 100m	1.6	0.9	1.6	2.5	3.9	1.9	0.3	0.3	2.3	0.1
Accesos regularizados cada 100m	0	0.3	0.2	0.3	0.8	0.7	0.5	1.8	0.5	0
Bajadas hormigón	0	0	1	1	1	2	2	6	6	0
Bajadas madera	0	1	6	0	0	0	0	1	2	0
Estacionamientos: Área aprox. (m <sup>2</sup> )	3844	108	9525	3677	473	2481	537	1899	8566	0
Estacionamientos: N° aprox. de plazas	286	15	632	142	21	217	28	254	533	0
Estacionamientos: plazas cada 100m	30	2	18	45	16	52	7	75	36	0
Estacionamientos: plazas por bajada regular	--	15	90	142	21	108	14	36	66	0
Paradores sobre la playa	0	0	3	0	0	1	0	2	2	0
Desagües / cañadas	1	0	9	0	2	1	0	2	5	5

Se registraron en total diez usos diferentes en la zona de estudio, en la tabla 6 se presentan las diferentes actividades realizadas en cada sitio. La playa Edén Rock presenta el mayor número de usos (N= diez) donde se destacan pesca deportiva, recreación, sandboard y tránsito vehicular sobre dunas; mientras que en las playas Brava y Mansa se desarrollan nueve.

**Tabla 6.** Usos observados en la zona de estudio por sitio.

Arco de playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Actividades a remolque de lancha	x								x	
Fútbol			x			x		x	x	
Kayak	x	x			x	x	x			
Kitesurf		x			x	x			x	
Pesca deportiva	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Recreación	x	x	x		x	x		x	x	x
Sandboard						x				
Surf		x			x	x				
Tránsito vehicular sobre dunas	x		x			x		x	x	
Voleibol	x							x	x	
Yet Ski		x			x	x			x	

La zona costera considerada está destinada principalmente a actividades recreativas representando las áreas de estacionamiento y vías de acceso gran parte de la infraestructura presente, siendo su distribución y relación variables entre sitios. Se observa frecuentemente la carencia de vías de acceso incluso en zonas que presentan áreas de estacionamiento, lo que conlleva a la generación de accesos irregulares y la pérdida de cobertura vegetal provocando un incremento de la presión antrópica sobre el cordón dunar. Entre los usos observados se destaca el tránsito vehicular el cuál genera un extenso e importante impacto negativo sobre el cordón dunar (Anders y Leatherman 1987; Stephenson 1999; Priskin 2003). El sandboard también ejerce un impacto negativo puntual siendo observable la remoción de la vegetación así como la deflación de la duna consecuencia del intenso tránsito que implica (Priskin 2003). La pesca deportiva resulta la actividad más extendida junto con la recreación. Los solapamientos entre ambas actividades disminuyen durante la temporada estival cuando son delimitados por los guardavidas quedando las puntas rocosas y desembocadura del arroyo Solís Chico para el desarrollo exclusivo de la primera y el resto de la segunda; aboliéndose las restricciones durante el resto del año. La pesca deportiva implica el acarreo de abundante equipo y menesteres, por lo que dichos usuarios escogen las vías más directas entre el vehículo y el punto escogido. Esto conlleva al deterioro del cordón dunar en aquellos puntos que no cuentan con infraestructura de acceso, resultando evidente en aquellos sitios no aptos para baños y donde la pesca deportiva es realizada todo el año como el sitio 1 del arco de playa Brava.

Preservar la funcionalidad de las playas así como su potencial turístico debe ser la meta de los municipios costeros, por lo que se requiere avanzar en el desarrollo de un plan de manejo costero con el fin de brindar una experiencia positiva para el usuario y preservar la funcionalidad del cordón dunar.

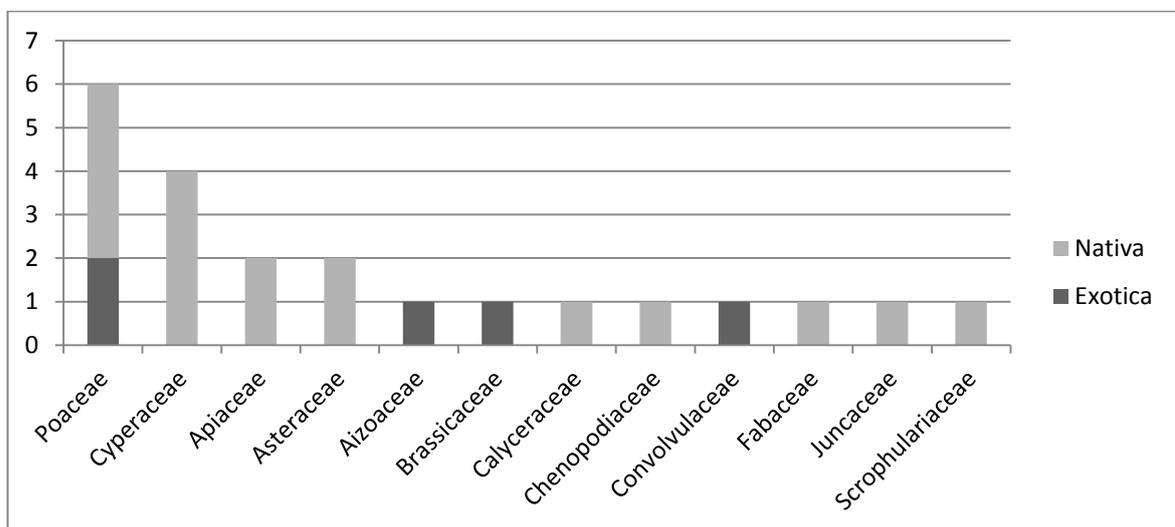
## Componente biótico: composición y estructura de las formaciones vegetales

Se registraron e identificaron 22 especies vegetales pertenecientes a 12 familias; en la tabla 7 se presenta una lista de las especies vegetales registradas ordenadas alfabéticamente por familia, nombre científico, nombre común, origen y tipo funcional. Las familias con el mayor número de especies fueron Poaceae (S=6), Cyperaceae (S=4), Apiaceae (S=2), Asteraceae (S=2), Aizoaceae (S=1), Brassicaceae (S=1), Calyceraceae (S=1), Chenopodiaceae (S=1), Convolvulaceae (S=1), Fabaceae (S=1), Juncaceae (S=1), y Scrophulariaceae (S=1).

**Tabla 7.** Lista de especies vegetales registradas en la zona de estudio de los tres arcos de playa ordenadas alfabéticamente por familia, nombre científico, nombre común, origen y tipo funcional.

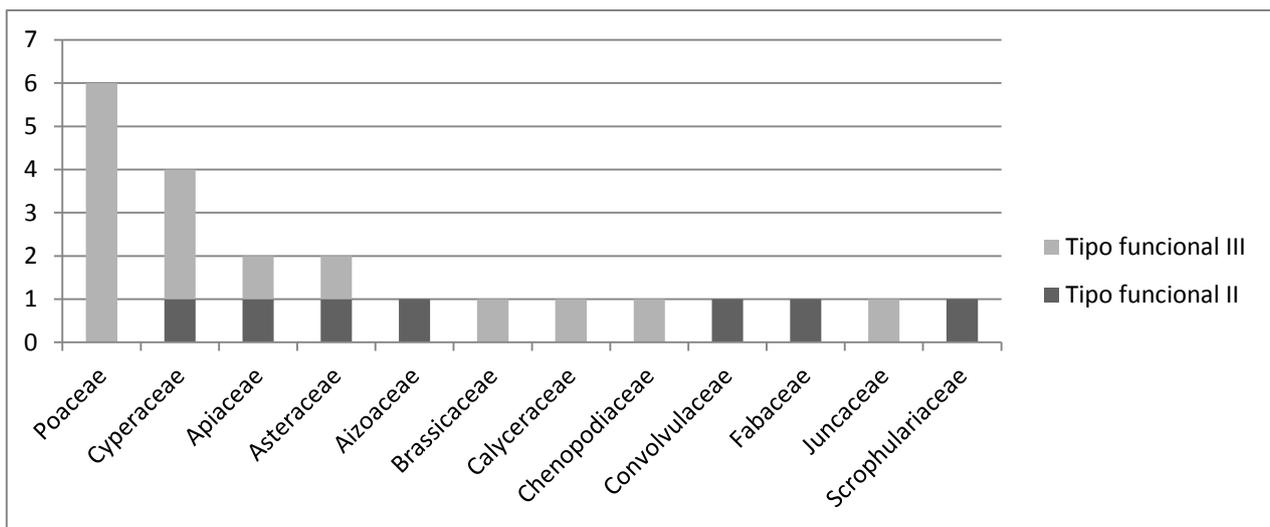
FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	ORIGEN	TIPO
Aizoaceae	<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E. Br.	Garra de león	Exótica	II
Apiaceae	<i>Eryngium pandanifolium</i> Cham. & Schldl.	Caraguatá	Nativa	II
Apiaceae	<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.	Redondita de agua	Nativa	III
Asteraceae	<i>Baccharis spicata</i> (Lam.) Baill.	Chilca blanca	Nativa	II
Asteraceae	<i>Senecio crassiflorus</i> (Poir.) DC.	Margarita de duna	Nativa	III
Brassicaceae	<i>Cakile maritima</i> Scop.	Rábano marino	Exótica	III
Calyceraceae	<i>Calycera crassifolia</i> Hicken	Calycera	Nativa	III
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium retusum</i> (Moq.) Moq.	Paico	Nativa	III
Convolvulaceae	<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Campanilla	Exótica	II
Cyperaceae	<i>Androtrichum trigynum</i> (Spreng.) H. Pfeiff.	Junco del copo	Nativa	III
Cyperaceae	<i>Kyllinga odorata</i> Vahl	Jacapé o Capim-barata	Nativa	II
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Junco	Nativa	III
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus pungens</i> (Vahl) Palla	Junquillo	Nativa	III
Fabaceae	<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	Porotillo	Nativa	II
Juncaceae	<i>Juncus acutus</i> L.	Junco	Nativa	III
Poaceae	<i>Arundo donax</i> L.	Caña de Castilla	Exótica	III
Poaceae	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn.	Cola de zorro	Nativa	III
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Gramilla	Exótica	III
Poaceae	<i>Panicum racemosum</i> (P. Beauv.) Spreng.	Pasto dibujante	Nativa	III
Poaceae	<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	Gramma de agua	Nativa	III
Poaceae	<i>Spartina coarctata</i> Trin.	Espartina	Nativa	III
Scrophulariaceae	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.	Bacopa enana	Nativa	II

En la figura 4 se presenta un histograma de las 12 familias registradas y su origen, ordenadas jerárquicamente por número de especies encontradas para cada una de las familias. El 77,3 % (17 spp.) son nativas y el restante 22,7% (5 spp.) exóticas; comprendiendo ocho familias exclusivamente nativas y tres exóticas; mientras que la familia Poaceae presentó especies de diverso origen siendo cuatro nativas y dos exóticas. Cinco de las especies registradas son exóticas: *Arundo donax*, *Carpobrotus edulis*, *Ipomoea cairica*, *Cynodon dactylon* y *Cakile maritima*; siendo consideradas globalmente como invasoras a excepción de la última (D'antonio 1990; D'Antonio 1990; Bell 1997; Khudamrongsawat et al. 2004; García Gallo et al. 2008; Ahmad et al. 2008; Deg y Ooststr 2015; GISD 2017a; GISD 2017b; GISD 2017c). El uso de varias de ellas para controlar la erosión del suelo ha promovido su dispersión, mientras que en el caso de *C. maritima* podría deberse a un proceso natural dado su alto grado de adaptación a la dinámica costera (Barbour 1970; Debez et al. 2004). En los sistemas de dunas la vegetación nativa juega un rol significativo en la capacidad de resiliencia ecológica, al posibilitar la regeneración y estabilización de dunas tras eventos erosivos gracias a las estrategias de crecimiento horizontal y vertical que presentan (Costa et al. 1991); resultando fundamentales para el control de la erosión del cordón de playa y la recuperación del efecto de las olas de tormentas (Cordazzo & Seeliger, 1995; Cordazzo & Davy, 1999). Por el contrario las especies exóticas invasoras constituyen una amenaza a la conservación de la diversidad biológica, la estructura y funcionalidad del cordón dunar (Campos et al. 2004; Gallego-Fernández et al. 2006), principalmente a través de la competencia (espacio), la fijación de dunas, el mantenimiento de perfiles inestables y el consecuente aceleramiento de los procesos erosivos (Panario & Gutiérrez, 2005; García-Rodríguez et al., 2009). Por lo tanto la determinación de la presencia de estas especies sobre la duna frontal demanda la inclusión de medias de control en los planes de manejo.



**Figura 4.** Histograma de número de especies agrupadas jerárquicamente por las familias registradas en la zona de estudio distinguiéndose en tonos de gris el origen entre nativas y exóticas.

En la figura 5 se presenta un histograma del número de especies registradas agrupadas en 12 familias distinguiéndose su tipo funcional. El tipo funcional dominante es el tipo III (13 spp.), seguidas de las del tipo II (9 spp.) no se registraron del tipo I. Entre las especies nativas predominaron las del tipo III (12 spp.) sobre el tipo II (5 spp.); al igual que entre las exóticas donde el tipo III (3 spp.) predominó sobre el tipo II (2 spp.). Cuatro familias representadas monoespecíficamente junto con la familia Poaceae presentaron especies exclusivamente del tipo III y otras cuatro familias también representadas monoespecíficamente presentaron especies exclusivamente del tipo II, mientras que las restantes tres familias presentaron especies de ambos tipos funcionales.



**Figura 5.** Histograma de frecuencia de especies agrupadas jerárquicamente por las familias registradas en la zona de estudio distinguiéndose en tonos de gris el tipo funcional.

Los sitios 1 y 2 del arco de playa Edén Rock presentaron cinco especies (tabla 8), el sitio 3 presentó la menor riqueza observada de la zona de estudio con tres especies. El arco de playa Brava presentó un gradiente descendente de riqueza en el sentido este - oeste, con ocho especies en el sitio 1, seis en el 2 y cinco en el 3. El arco de playa Mansa presentó en el sitio 1 la mayor riqueza de especies observada en la zona de estudio con once especies, el sitio 2 presentó cinco especies, siete el sitio 3 y ocho el 4. Los estimadores de riqueza empleados predicen que el sitio 3 del arco de playa Edén Rock y el sitio 4 del arco de playa Mansa pueden presentar hasta dos especies más, mientras que el sitio 1 del arco de playa Edén Rock, los sitios 1 y 2 del arco de playa Brava junto a los sitios 2 y 3 del arco de playa Mansa pueden presentar una especie más. Para los restantes sitios la riqueza de especies estimada por todos los estimadores utilizados fue igual a la observada.

**Tabla 8.** Riqueza observada, número de Singletones, Dobletones y riqueza esperada por sitio y estimador.

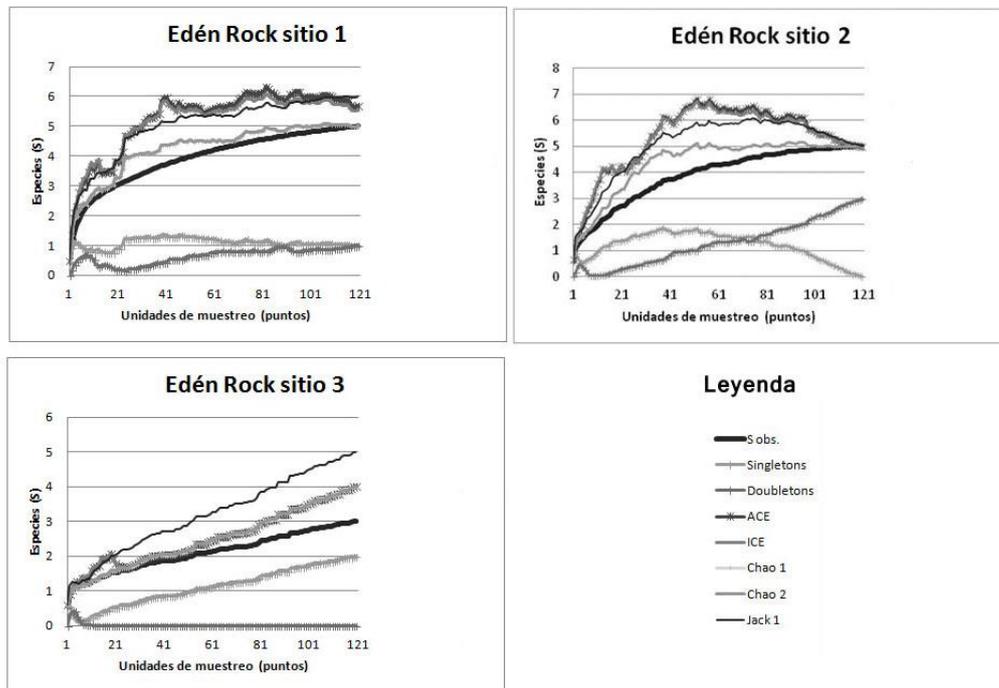
Arco de Playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
	Sitio	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Riqueza observada</b>	5	5	3	8	6	5	11	5	7	8
<b>Singletones</b>	1	0	2	1	1	0	0	1	1	2
<b>Dobletones</b>	1	3	0	0	0	1	2	1	0	1
<b>ACE</b>	6	5	4	8	7	5	11	6	8	9
<b>ICE</b>	5	5	4	8	7	5	11	6	8	9
<b>Chao 1</b>	5	5	4	8	6	5	11	5	7	8
<b>Chao 2</b>	5	5	4	8	6	5	11	5	7	8
<b>Jack 1</b>	6	5	5	9	7	5	11	6	8	10

En la tabla 9 se presenta el porcentaje de completitud por sitio. La completitud superó el 80% para todos los estimadores calculados en todos los sitios excepto el 3 del arco de playa Edén Rock donde se obtuvo un 60.24% para el estimador Jackknife 1 y un 75% para el resto. Los estimadores Chao 1 y 2 presentaron el mejor ajuste a las curvas en todos los casos, mientras que Jackknife 1 presentó los más bajos. El promedio de todos los estimadores calculados superó el 70 % de completitud en todos los sitios.

**Tabla 9.** Porcentaje de completitud para los estimadores estudiados ACE, ICE, Chao 1, Chao 2, Jack 1 y promedio por estimador y sitio.

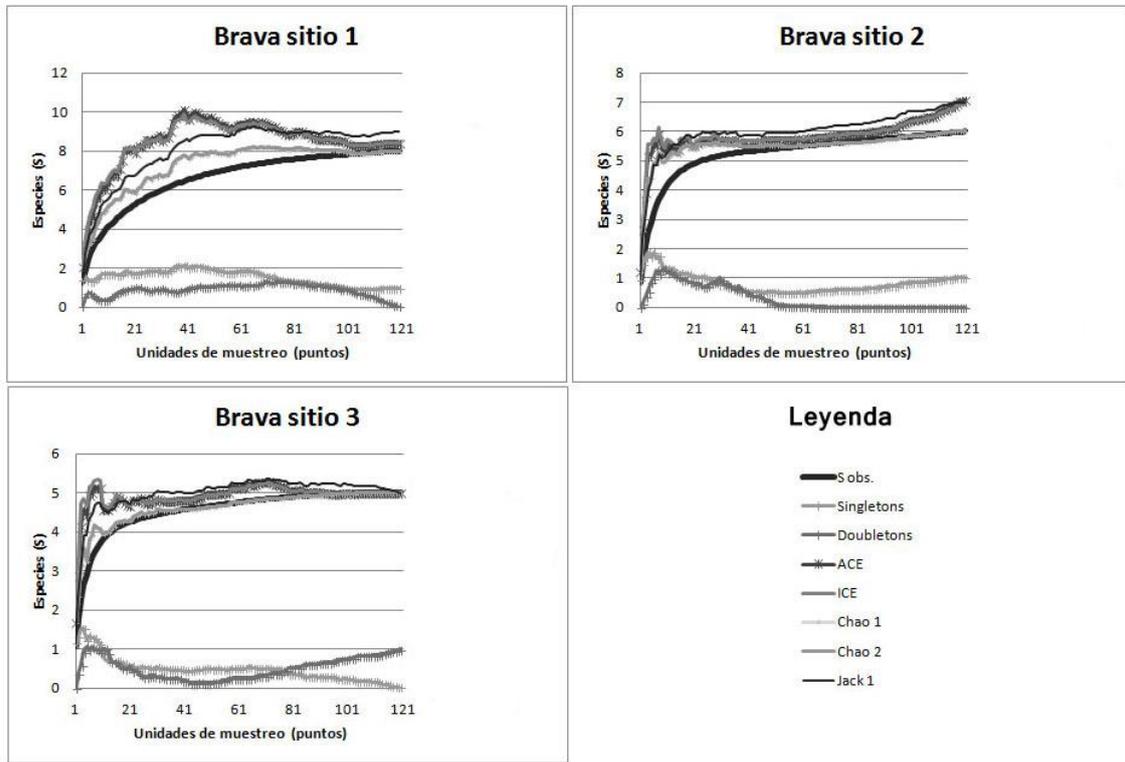
Arco de Playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
	Sitio	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>ACE</b>	87.9	100	75	94.8	84.7	100	100	86.8	92.3	85.3
<b>ICE</b>	90.1	100	75.2	95.1	86.3	100	100	87.3	92.8	86.8
<b>Chao 1</b>	100	100	75	100	100	100	100	90.9	100	94.1
<b>Chao 2</b>	100	100	75.2	100	100	100	100	90.9	100	94.1
<b>Jack 1</b>	83.5	100	60.2	89	85.8	100	100	83.5	87.6	80.2
<b>Promedio</b>	92.3	100	72.1	95.8	91.4	100	100	87.9	94.6	88.1

Las figura 6 presenta las curvas de acumulación de especies por sitio correspondientes al muestreo del arco de playa Edén Rock. El sitio 3 presentó el peor ajuste respecto a los restantes sitios de la zona de estudio, la cual corresponde a cinco especies (60,2% de completitud) relativa al estimador Jackknife 1. Este resultado indica que el esfuerzo de muestreo en este sitio debe incrementarse.



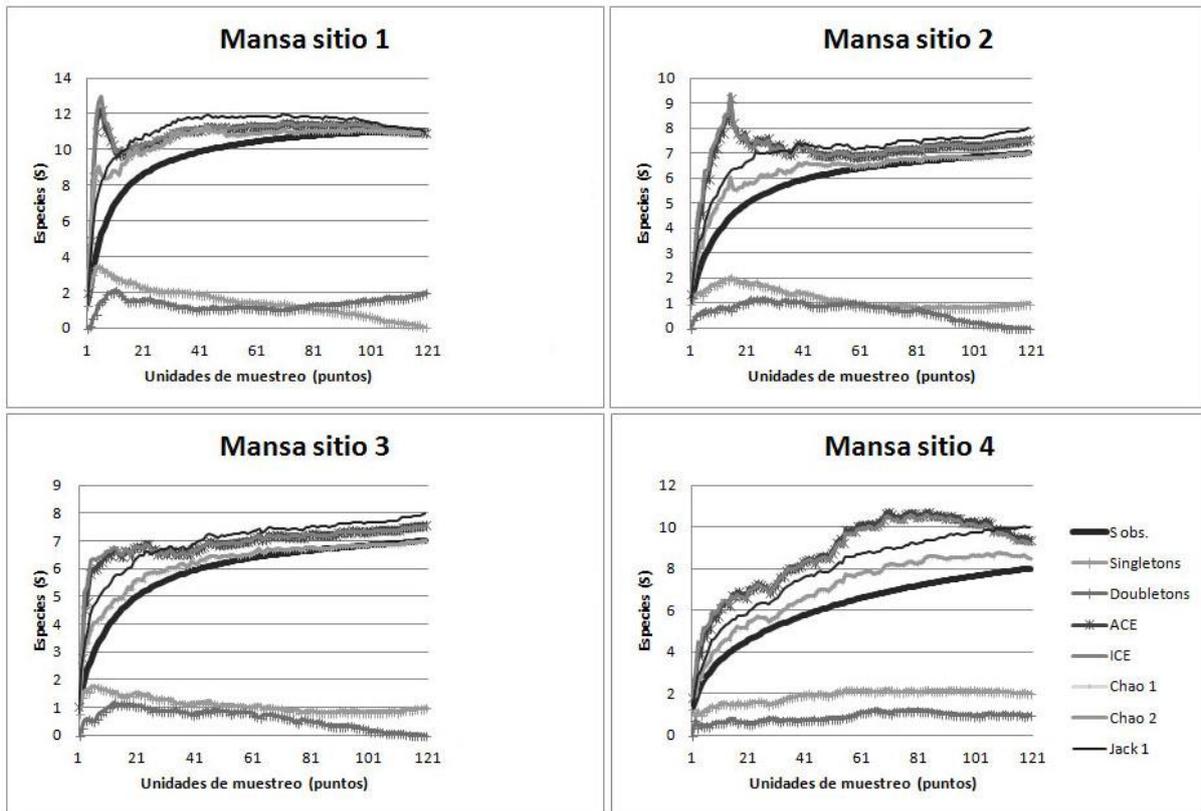
**Figura 6.** Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jacknife 1 por sitio del arco de playa Edén Rock.

La figura 7 presenta las curvas de acumulación de especies por sitio del muestreo realizado en el arco de playa Brava. Todos los sitios presentaron una buena aproximación a la asíntota para la mayoría de los estimadores, resultando el sitio 2 el del ajuste más pobre del arco de playa con tres estimadores indicando una riqueza de siete especies resultando la observada de seis.



**Figura 7.** Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jackknife 1 por sitio del arco de playa Brava.

La figura 8 presenta las curvas de acumulación de especies por sitio obtenidas en el arco de playa Mansa. El sitio 1 presentó un buen ajuste respecto a todos los estimadores; mientras que para los sitios 2 y 3, tres de los cinco estimadores predicen una especie más respecto a la riqueza observada. El sitio 4 presentó el peor ajuste del arco de playa con dos estimadores prediciendo la ocurrencia de una especie más y el estimador Jackknife 1 prediciendo la ocurrencia de dos más respecto a la riqueza observada.



**Figura 8.** Curvas de acumulación de especies observada y esperada en base a la media de los estimadores ACE, ICE, Chao1, Chao2 y Jackknife 1 por sitio del arco de playa Mansa.

El arco de playa Edén Rock presentó la menor frecuencia ( $N=221$ ) y riqueza de especies ( $S=8$ ), junto al mayor rango de equitatividad tomando el índice de Pielou valores entre 0,14 y 0,64. Los sitios 2 y 3 contaron con un valor del índice de Pielou de 0,34 y 0,14 respectivamente resultando los valores más bajos observados (tabla 10). El arco de playa Brava presentó valores intermedios de frecuencia ( $N=379$ ), así como también de riqueza ( $S=10$ ) la cual exhibió un gradiente ascendente en el sentido Este - Oeste. Presentó valores relativamente altos de equitatividad estando el índice de Pielou comprendido en el rango 0,65 - 0,86. El arco de playa Mansa presentó el mayor rango de frecuencia entre sitios comprendido entre 43 y 160; junto a la mayor riqueza de especies ( $S=16$ ). Este arco de playa exhibió un gradiente de equitatividad descendente en el sentido Este - Oeste y en el sitio 1 presentó el máximo registro de riqueza ( $S=11$ ), frecuencia ( $N=160$ ) y equitatividad ( $J=0,88$ ) de la zona de estudio. Mientras que el sitio dos presentó la menor riqueza de especies del arco de playa ( $N=5$ ) y el mínimo registro de frecuencia de la zona de estudio ( $N=43$ ).

Respecto a los tipos funcionales presentes sobre la duna frontal, el arco de playa Edén Rock fue el único que presentó todas las especies correspondientes al tipo funcional III. En el arco de playa Brava los sitios 1 y 2 presentaron proporciones variables de especies pertenecientes a los tipos funcionales II y III, predominando en todos los casos este último; a la vez que el sitio 3 presentó exclusivamente especies correspondientes al tipo funcional III. En el arco de playa Mansa también el tipo funcional III dominó sobre el II. El sitio 1 presentó la mayor proporción de especies del tipo funcional II en toda la zona de estudio. Los sitios 2 y 4 presentaron proporciones variables de especies correspondientes a los tipos funcionales II y III, mientras que el sitio 3 presentó especies pertenecientes exclusivamente al tipo funcional III.

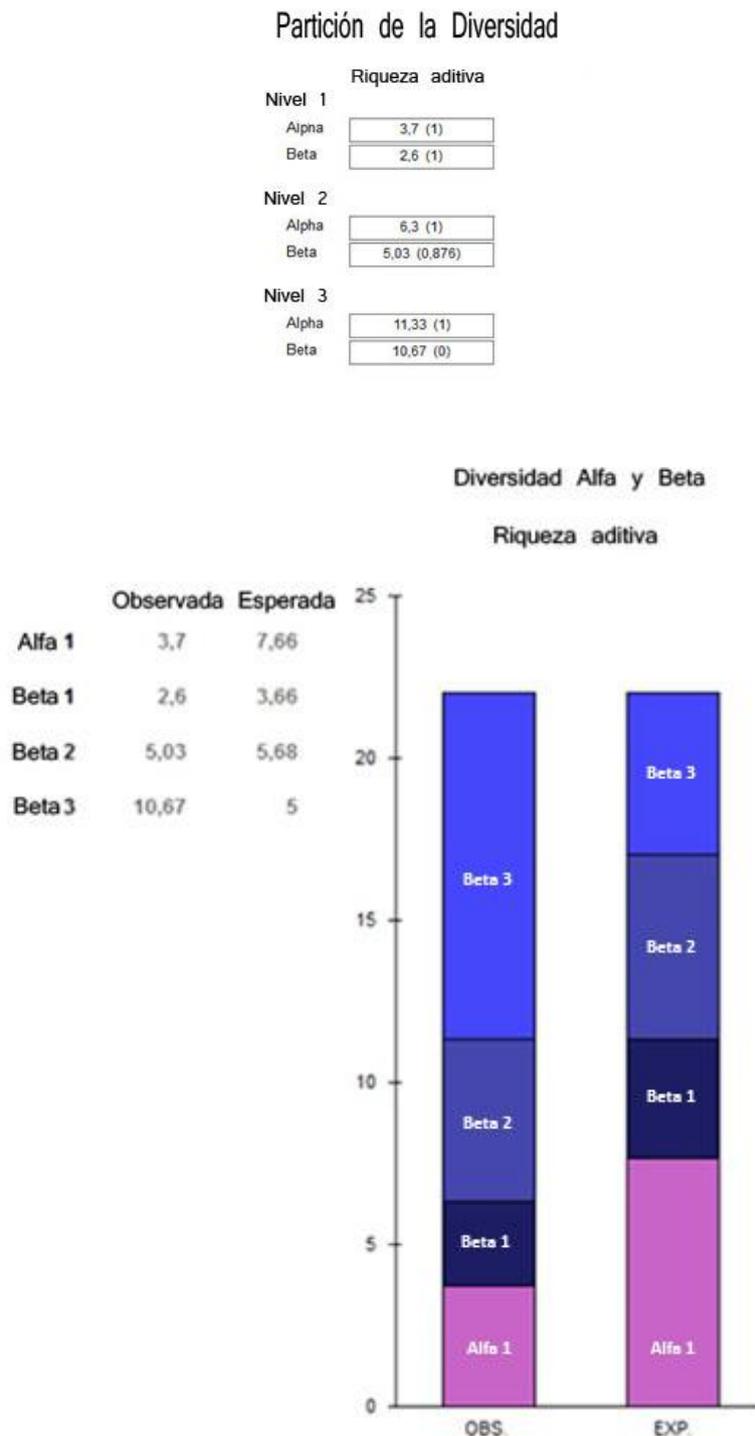
**Tabla 10.** Riqueza de especies (S), número de individuos (N), índice de equidad de Pielou 1966 (J') y porcentaje de cobertura total (%C) y por grupo funcional para cada arco de playa y sitio.

Arco de playa	Edén Rock				Brava				Mansa				
	1	2	3	Total	1	2	3	Total	1	2	3	4	Total
S	5	5	3	8	8	6	5	10	11	5	7	8	16
N	73	79	69	221	150	101	128	379	160	43	119	144	466
J'	0.64	0.34	0.14		0.65	0.86	0.81		0.88	0.73	0.66	0.54	
% C total	55	60	56.7		75	55.8	65		75	32.5	71.7	79.2	
% C Tipo funcional I	0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	
% C Tipo funcional II	0	0	0		0.67	11	0		17.5	4.65	0	2.08	
% C Tipo funcional III	100	100	100		99.33	89	100		82.5	95.35	100	97.92	

El análisis de similitud (ANOSIM) obtenido a partir de la matriz de similitud empleando como medida de distancia el coeficiente Bray-Curtis resultó significativo para el factor sitios ( $R=0.513$ ;  $p<0.1\%$ ) y no significativo para el factor playa ( $R=0.147$   $p=2\%$ ).

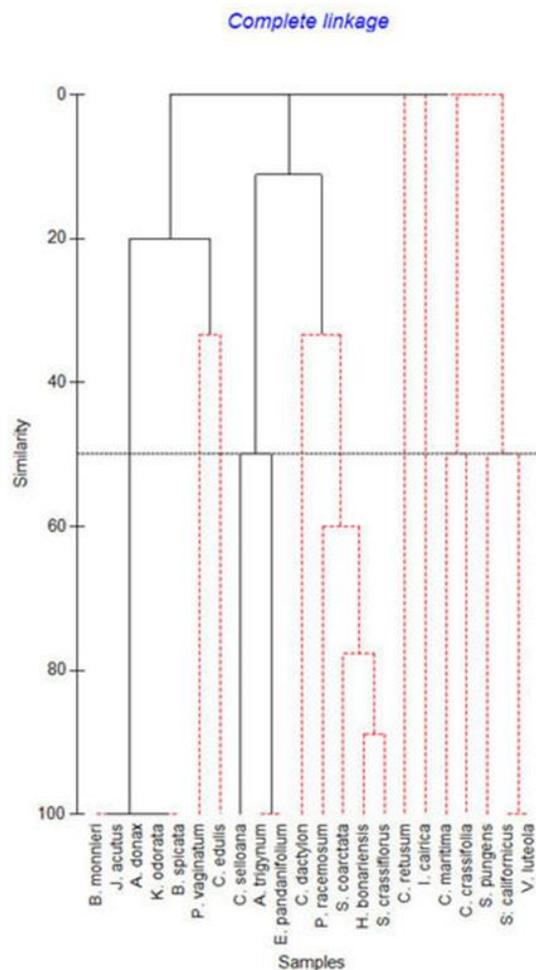
La partición de la diversidad en Alfa y Beta en tres niveles: réplicas (Nivel 1), sitios (Nivel 2) y arcos de playa (Nivel 3) indicó que a nivel de réplicas la riqueza de especies es de 3,7 y el recambio de 2,6; mientras que a nivel de sitios es de 6,3 y 5,03 respectivamente (tabla 11 y figura 9). A nivel de arcos de playa la partición de la diversidad indica un valor de Alfa de 11,33 y un valor de Beta de 10,67. En todos los niveles la diversidad Alfa resultó menor a la esperada por azar aunque no significativamente; mientras que el recambio de especies a nivel de arcos de playa (Beta en el nivel 3) sí resultó significativo; dando cuenta de la existencia de diversidad de condiciones ente arcos de playa.

**Tabla 11.** Valores de diversidad Alfa y Beta para los tres niveles considerados indicándose entre paréntesis el valor de significancia estadística obtenido a partir de mil iteraciones empleando aleatorizaciones individuales.



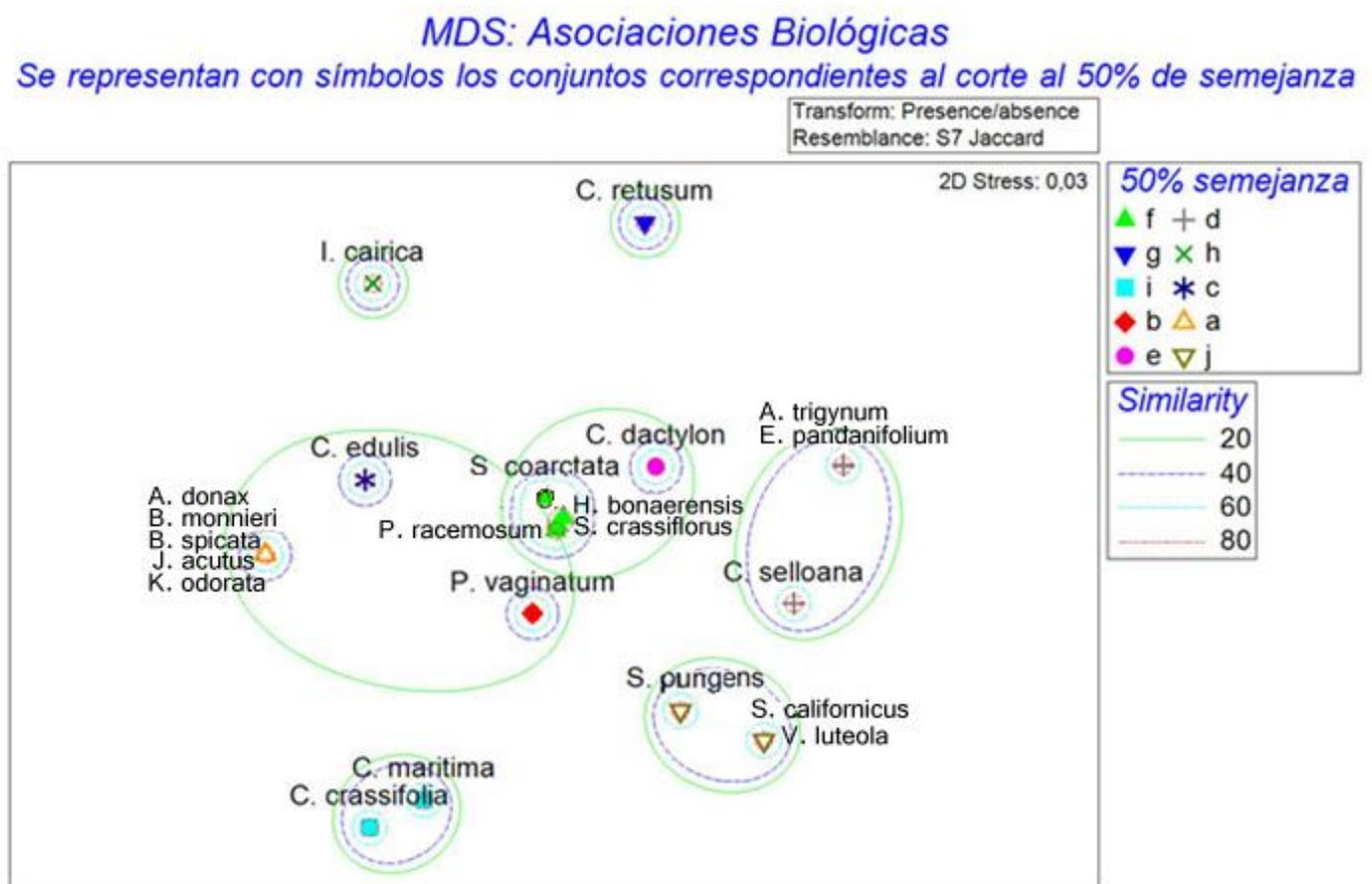
**Figura 9.** Diversidad Alfa y Beta observada y esperada en base a aleatorizaciones individuales empleando mil iteraciones, en los tres niveles considerados (réplicas, sitios y arcos de playa). Se indica la diversidad alfa para el nivel más bajo analizado, dado que el valor de Alfa para los niveles superiores resulta de la suma de Alfa y Beta en el nivel inferior próximo.

En la figura 10 se presenta el análisis de agrupamiento realizado utilizando el índice de Jaccard como medida de distancia y vínculo completo (Complete linkage) como algoritmo de fusión; basado en la presencia - ausencia de especies por sitio para determinar asociaciones biológicas. Presenta cinco nodos significativos (SIMPROF significancia al 5%), conformando tres grandes grupos de los cuales dos son agrupamientos estadísticamente significativos y el tercero no. El primero gran grupo presenta un nodo significativo subdividiéndose en una estrecha agrupación conformada por *A. donax*, *K. odorata*, *J. acutus*, *B. monnieri* y *B. spicata* de significancia estadística y en otra conformada por *P. vaginatum* y *C. edulis* la cual no es estadísticamente significativa. El segundo gran grupo presenta dos nodos estadísticamente significativos dando lugar a tres agrupamientos. El primero de ellos conformado únicamente por *C. selloana*, el segundo por la estrecha asociación de *A. tryginum* y *E. pandanifolium* y el tercero por *C. dactylon*, *P. racemosum*, *S. coarctata*, *H. bonaerensis* y *S. crassiflorus*. El tercer gran agrupamiento aglomera sin significancia estadística las especies *C. retusum*, *I. cairica*, *C. maritima*, *C. crassifolia*, *S. pungens*, *S. californicus* y *V. luteola*.



**Figura 10.** Análisis de Agrupamiento en base a la matriz de semejanza (distancia Jaccard) de datos de presencia - ausencia de especies. Se presenta en negro los nodos estadísticamente significativos ( $p < 0.5\%$ ) y en punteado el corte al 50% de similitud.

A partir del análisis de escalamiento multidimensional (MDS) se obtuvieron representaciones con bajos valores de estrés en 2-D (0,03) (Borg & Groenen, 2005). La figura 11 presenta el resultado obtenido del análisis de MDS combinado con el análisis de agrupamiento generado. Se denota un conjunto central conformado por: *P. racemosum*, *S. coarctata*, *H. bonaerensis* y *S. crassiflorus*; presentando a *C. dactylon* bastante asociado a este conjunto al igual que *P. vaginatum* y en menor medida *C. edulis*. A una distancia mayor del conjunto central se presentan dos agrupaciones conformada la primera por el conjunto *A. tryginum*, *E. pandanifolium* y *C. selloana* y la segunda por *S. pungens*, *S. californicus* y *V. luteola*. Alejados del conjunto central se presentan la estrecha agrupación conformada por *A. donax*, *K. odorata*, *J. acutus*, *B. monnieri* y *B. spicata*; la agrupación conformada por *C. maritima* y *C. crassifolia*, y las especies aisladas *I. cairica* y *C. retusum*.



**Figura 11.** Representación en dos dimensiones del espacio multidimensional conformado por las especies en base a datos de presencia-ausencia. Los símbolos y contornos representan asociaciones gráficas respecto al agrupamiento Complete Linkage de la figura 10.

## Especies indicadoras: IndVal

De las 22 especies evaluadas dos presentan valores significativos de indicación ( $p < 0.05$ ) respecto a la categoría de vulnerabilidad. *Spartina coarctata* (IndVal = 69.4 s.dev 10.99  $p < 0.009$ ) y *Cakile maritima* (IndVal= 62.2 s.dev 8.99  $p < 0.015$ ) se presentan como especies detectoras de la categoría I, es decir de sitios con baja vulnerabilidad. La vinculación de estas especies con sitios de baja vulnerabilidad permitiría su uso como bio-indicadores. La exploración de datos en busca de especies con alta fidelidad por sitio, demostró que *Paspalum vaginatum* es una especie indicadora del sitio Mansa 4 (IndVal= 78.2  $p = 0.001$ ). Indicando esto la existencia de condiciones puntuales en dicho sitio, tales como la presencia de agua dulce y escaso flujo aéreo de arena. Estos resultados en conjunto además informan sobre la variabilidad de condiciones presentes en la zona de estudio.

## El ambiente litoral y las formaciones vegetales costeras

Las relaciones entre geomorfología, suelos y vegetación han mostrado ser un factor clave en la formación de patrones y procesos ecológicos (Swanson et al., 1988; Daehyun & Keun Bae, 2009); consistiendo en conexiones causales entre fenómenos geomorfológicos, condiciones del suelo y patrones de vegetación (Seeliger, 1992; Hesp, 2002; Panario & Gutiérrez, 2005; Daehyun & Keun Bae, 2009). En el sistema costero las características sedimentarias, los controles geológicos, el régimen de olas y vientos son los principales factores naturales que determinan la dinámica de los procesos geomorfológicos; y por lo tanto, la heterogeneidad espacial en la forma de gradientes físico - químicos y tipo, frecuencia e intensidad de disturbios (Watt, 1977; Costa et al., 1996; Brooks & Agate, 2001; Hesp, 2002; Anfuso et al., 2003; Muñoz-Reinoso & García Novo, 2005; Lortie & Cushman, 2007; Daehyun & Keun Bae, 2009). Estos factores a su vez pueden cambiar en el tiempo en respuesta a eventos climáticos globales o locales así como a procesos geomorfológicos que determinen un cambio en la posición relativa de la línea de costa; condicionando la evolución de estos factores, es decir la historia geomorfológica, la evolución de la sucesión vegetal (Watt, 1977; Panario & Piñeiro, 1997; Toft & Elliott-Fisk, 2002; Begon et al., 2006; Barrett-Mold & Burningham, 2009; Miller et al., 2009; Pickett et al., 1987).

La energía de las olas, la velocidad del viento (debido a la capacidad abrasiva y de enterramiento), el espray salino y el contenido de humedad y nutrientes del suelo, son los principales factores de estrés del sistema biótico; condicionando la composición y distribución espacial del ensamble vegetal entre los sub-ambientes litorales (Watt, 1977; Ariza & Belmonte, 1985; Moreno-Casasola, 1986; Cordazzo & Seeliger, 1993; Maun,

1994; Hesp, 2002; Griffiths & Orians, 2003; Muñoz-Reinoso & García Novo, 2005; Yura & Ogura, 2006; Lortie & Cushman, 2007; Gilbert et al., 2008; Daehyun & Keun Bae, 2009; Miller et al., 2009).

En primera línea, donde los efectos estresantes de la dinámica eólica y la proximidad al mar son máximos, la capacidad de colonización y adaptación al medio condicionan en mayor medida la sucesión vegetal temprana (Margalef, 1977; Margalef, 1980; Moreno-Casasola, 1986; Lichter, 2000), siendo llevada a cabo por un conjunto de especies adaptadas llamadas "pioneras" (García-Mora et al., 1999) e iniciando un proceso de construcción / regeneración del sistema dunar, desplazándolo de la fase liberación ( $\Omega$ ) a la de reorganización ( $\alpha$ ) del modelo general de dinámica de Sistemas Complejos Adaptativos (Holling & Gunderson, 2002). Estas especies promueven la acumulación de sedimentos y favorecen la aparición de especies "constructoras" capaces de regenerar las estructuras dunares en una fase de explotación (r) (Alonso-Paz & Bassagoda, 2006; Feagin & Ben Wu, 2007; Franks Steven & Peterson Chris, 2003; Walker et al., 2006). El proceso de sucesión del ensamble vegetal tiende a la fijación de los campos dunares (y por lo tanto a la pérdida de funcionalidad) por una comunidad dominada por especies que aprovechan el recurso generado por las especies pioneras y constructoras, persistiendo gracias a su mayor capacidad competitiva en sub-ambientes particulares dentro de la heterogeneidad de la matriz (Costa et al., 1991; Brooks & Agate, 2001; Alonso-Paz & Bassagoda, 2006; Begon et al., 2006; Feagin & Ben Wu, 2007; Castiñeira, 2009). En función del grado de adaptación de las especies presentes sobre el cordón dunar, se distinguen tres grupos funcionales cuya presencia puede utilizarse como indicador de su estado (García-Mora et al., 1999; Silva et al., 2004; Martínez et al., 2006; Feagin & Ben Wu, 2007).

En términos generales la presencia exclusiva de especies del tipo funcional III sobre la duna frontal, la baja riqueza, cobertura y equitatividad observada en el arco de playa Edén Rock sugieren que existe un fuerte control de los agentes vinculados a la dinámica costera sobre el ensamble vegetal, el que se mantiene entre las fases de liberación y reorganización. Los sitios donde se observa una disminución de la presión de la dinámica costera como los que presentan afloramientos rocosos (sitios 1 del arco de playa Brava y Mansa) o una orientación que no favorece el transporte aéreo de sedimentos junto a la disponibilidad de agua dulce por el afloramiento de la napa freática (Mansa 4), presentan los ensambles más ricos contando con especies pertenecientes al tipo funcional II, altos valores de cobertura y equitatividad dando cuenta de la presencia en primera línea de ensambles maduros en una fase de explotación. Mientras que la presencia de ensambles maduros sobre la duna frontal en sitios expuestos a los agentes forzantes de la dinámica costera (sitios 2 y 3 del arco de playa Brava; 3 del arco de playa Mansa) probablemente se deba al retroceso reciente de la duna frontal exponiendo en primera línea un ensamble característico de duna secundaria.

El análisis de MDS indica la predominancia de un conjunto de especies que coexiste con las restantes, correspondiendo dicho ensamble a la formación estepa psamófila de acuerdo a la clasificación propuesta por Fagúndez & Lezama (2005). La presencia generalizada en los arcos de playa de gradientes de riqueza de especies decrecientes en sentido este – oeste junto a la identificación a través del PCA de los componentes vegetal y eólico como responsables de generar la mayor parte de la variabilidad observada, sugiere a la exposición al viento predominante como principal forzante de la dinámica litoral dado que en cada arco son los sitios ubicados al este los menos expuestos al mismo. Los resultados de los análisis de similaridad y de partición de la diversidad develan que a nivel de arcos de playa ocurre un alto recambio de especies, siendo a nivel de sitios donde se encuentran ensambles similares a lo largo de la zona de estudio. A partir de estos resultados puede deducirse que la formación estepa psamófila domina la zona de estudio siendo reemplazada en sitios particulares con diversas condiciones, develando el nivel de complejidad del sistema estudiado. La fidelidad de *Spartina coarctata* por el sitio 2 del arco de playa Edén Rock así como de *Paspalum vaginatum* por el sitio 4 del arco de playa Mansa observados en el análisis de especies indicadoras; junto con los estrechos conjuntos de especies observados en el análisis de agrupamiento, correspondientes a los ensambles del sitio 1 y el 2 del arco de playa Mansa, representan los casos de reemplazo de la formación dominante y parecen presentar diversos orígenes: la historia geomorfológica podría dar cuenta de la ocurrencia del primero, las condiciones geomorfológicas del segundo y tercero; y la presión antrópica del último. Estos resultados junto con la caracterización en tipos funcionales afirma la capacidad del uso del ensamble vegetal como bioindicador del estado y dinámica del sistema dunar.

## Vulnerabilidad

La vulnerabilidad presentó un rango comprendido entre 0.35 a 0.68 (tabla 12) observándose ocho sitios con valores superiores a 0.5. Los sitios Edén Rock 2 y Mansa 1 presentan la menor vulnerabilidad mientras que el sitio Edén Rock 1 la más alta. Estos sitios presentan condiciones geomorfológicas contrastantes, a pesar de lo cual los dos primeros exhiben una buena capacidad adaptativa. Uno por presentar un extenso campo dunar, disponibilidad de sedimentos y una considerable distancia entre la línea de costa y la infraestructura; el otro gracias al importante afloramiento rocoso que ofrece protección a las tierras adyacentes al estabilizar la línea de costa. Por otra parte el sitio 1 del arco de playa Edén Rock presenta en primera línea una duna terciaria socavada en su base por el arroyo, el cual impide la regeneración de la estructura duneiforme bloqueando el flujo aéreo de sedimentos; así como una estrecha distancia entre la rambla y la línea de costa la cual se encuentra desprovista de infraestructura de acceso.

**Tabla 12.** Índice de capacidad adaptativa (ICA), Índice de vulnerabilidad a las principales forzantes (IVPF) y Vulnerabilidad (V) por sitio. Se destacan en tonos de gris valores superiores a 0.5; 0.6 y 0.7.

Arco de playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
Sitio	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
ICA	0.79	0.45	0.54	0.52	0.62	0.46	0.4	0.61	0.69	0.59
IVPF	0.57	0.25	0.46	0.51	0.59	0.58	0.57	0.63	0.53	0.43
V	0.68	0.35	0.5	0.52	0.61	0.52	0.48	0.62	0.61	0.51

*Índice de Vulnerabilidad a las principales forzantes (IVPF)*

El sitio 2 del arco de playa Edén Rock presentó el menor valor del IVPF (IVPF=0.25), mientras que los restantes sitios del mismo arco presentaron valores intermedios comprendidos en el rango de 0.43 a 0.63 (tabla 13). El arco de playa Brava presentó valores intermedios dentro de un estrecho rango comprendido entre 0.51 y 0.59. En el arco de playa Mansa el sitio 2 presentó el mayor valor del IVPF de toda la zona de estudio (IVPF=0.63); los restantes sitios presentaron valores intermedios comprendidos en el rango de 0.43 a 0.57.

Respecto a los subíndices, el de cobertura vegetal fue el que presentó el mayor rango de variación entre sitios (ICV=0.06 a 0.84), seguido del de incidencia eólica (IIE=0.24 a 0.75), incidencia marina (IIM=0.28 a 0.75), presión antrópica (IPA=0.06 a 0.52) y condición geomorfológica (ICG=0.46 a 0.92).

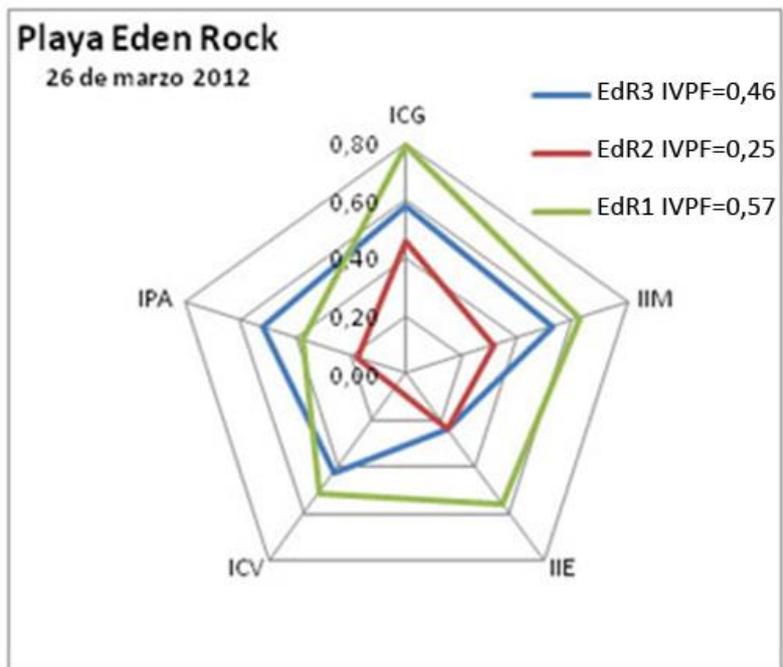
**Tabla 13.** Índice y sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio y arco de playa.

Arco de playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
Sitio	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
ICG	0.79	0.46	0.58	0.67	0.92	0.83	0.75	0.67	0.67	0.67
IIM	0.63	0.31	0.53	0.59	0.44	0.56	0.75	0.28	0.44	0.53
IIE	0.56	0.24	0.24	0.49	0.51	0.43	0.71	0.75	0.5	0.36
ICV	0.52	0.06	0.42	0.52	0.7	0.63	0.48	0.84	0.64	0.55
IPA	0.38	0.18	0.52	0.29	0.39	0.46	0.16	0.6	0.39	0.06
IVPF	0.57	0.25	0.46	0.51	0.59	0.58	0.57	0.63	0.53	0.43

Abreviaciones: ICG: índice de condición geomorfológica; IIM: índice de influencia marina; IIE: índice de incidencia eólica; ICV: índice de cobertura vegetal; IPA: índice de presión antrópica; IVPF: índice de vulnerabilidad a las principales forzantes.

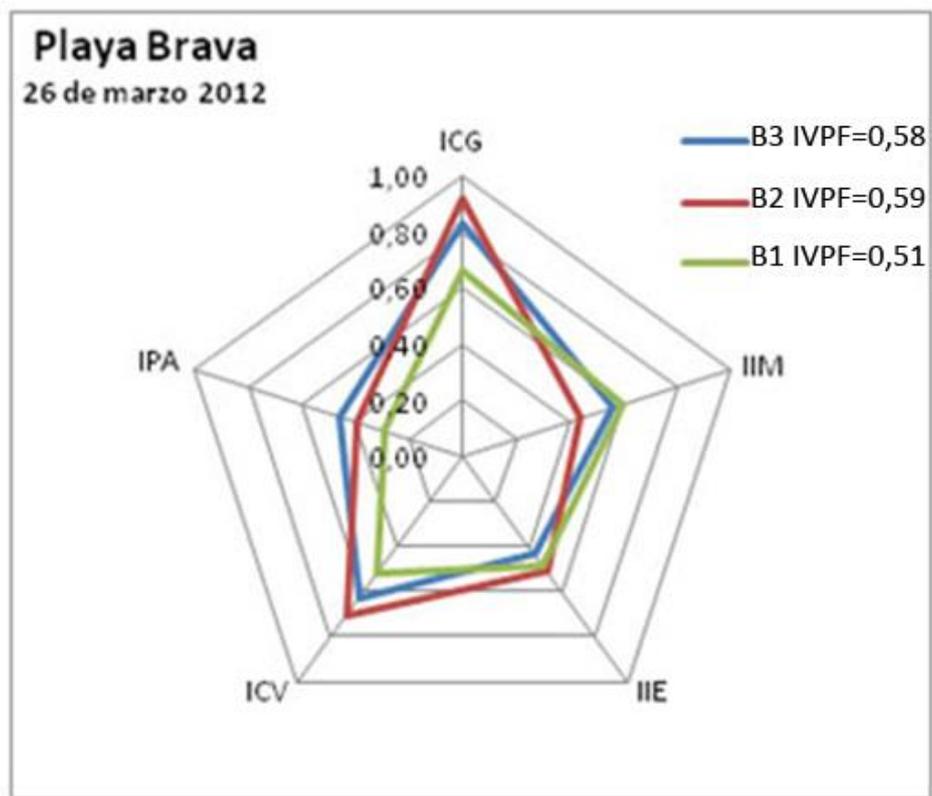
Los resultados obtenidos reflejan la diversidad de condiciones y el grado de similitud entre sitios de cada arco de playa, siendo observable importantes variaciones de los distintos componentes de la vulnerabilidad a lo largo de la zona de estudio. Por ejemplo en el sitio 2 del arco de playa Edén Rock la disponibilidad de sedimentos junto a la favorable incidencia eólica generan un campo dunar, aislando al sitio y disminuyendo la incidencia marina. Estas condiciones promueven la presencia de un ensamble vegetal adaptado a la dinámica costera que se ve poco afectado por las actividades antrópicas. Mientras que en el sitio 2 del arco de playa Mansa la alta presión antrópica que soporta afecta la estructura dunar y cobertura vegetal en extremo, resultando baja la capacidad de resiliencia dada su orientación lo que se refleja en la expresión del índice de incidencia eólica.

La figura 12 presenta el diagrama de la descomposición grafica de la vulnerabilidad a las principales forzantes del arco de playa Edén Rock. El sitio 1 presenta la mayor área (IVPF=0.57) con valores de sus componentes superiores a todos los sitios del arco principalmente el índice de incidencia eólica (IEE=0.56), con excepción del índice de presión antrópica el cuál fue superado por el sitio 3 (IPA sitio 1=0.38; sitio 3=0.52). El sitio 2 se destaca por presentar la menor área con todos sus componentes de menor magnitud que el resto de los sitios del arco, salvo por el índice de incidencia eólica el que es de igual magnitud al presentado por el sitio 3 (IEE=0.24). Este último sitio presenta una conformación intermedia, presentando como particularidad las dos excepciones mencionadas.



**Figura 12.** Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Edén Rock. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

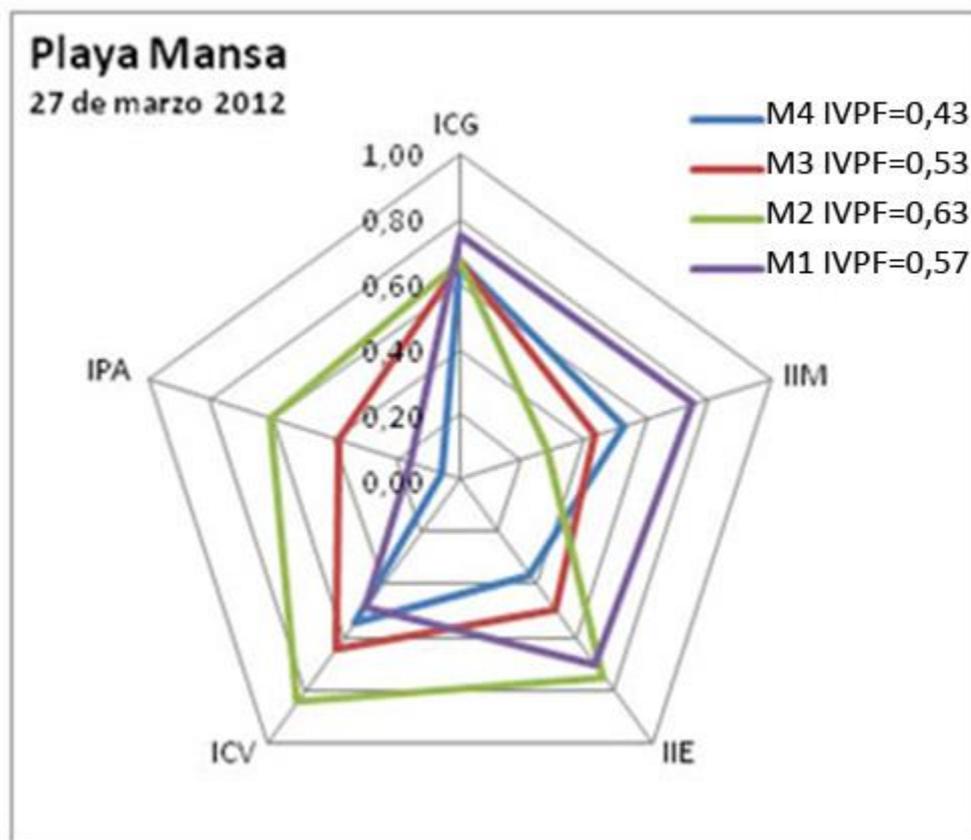
La figura 13 presenta el diagrama de la descomposición gráfica del IVPF del arco de playa Brava. En términos generales todos los sitios presentan una conformación homogénea, siendo el sitio 1 el de menor área (IV=0.51) principalmente debido a los componentes índice de condición geomorfológica (ICG=0.67), índice de cobertura vegetal (ICV=0.52) e índice de presión antrópica (IPA=0.29) en los cuales tomaron valores inferiores al presentado en los restantes sitios, mientras que el índice de incidencia marina presentó el mayor valor del arco de playa (IIM=0.59) y el índice de incidencia eólica un valor intermedio (IIE=0.49).



**Figura 13.** Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Brava. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

La figura 14 presenta el diagrama de la descomposición gráfica de la vulnerabilidad del arco de playa Mansa, el cual presenta una importante variabilidad entre sitios. El índice de incidencia marina presentó el mayor rango de variación entre sitios (IIM=0.28-0.75), seguido por el de incidencia eólica (IIE=0.36-0.75), el de cobertura vegetal (ICV=0.48-0.84), el de presión antrópica (IPA=0.06-0.6) y por último el de condición geomorfológica (ICG=0.67-0.75). El sitio 1 se destaca por presentar el mayor valor del componente índice de incidencia marina (IIM=0.75) y del índice de condición geomorfológica (ICG=0.75), mientras que el sitio 2 lo hace por presentar el mayor valor respecto a los componentes índice de cobertura vegetal (ICV=0.84) e índice de presión antrópica (IPA=0.6).

El sitio 3 presenta una configuración intermedia, mientras que el sitio 4 se destaca por presentar el menor valor de los componentes índice de presión antrópica (IPA=0.06) e índice de incidencia eólica (IIE=0.36).

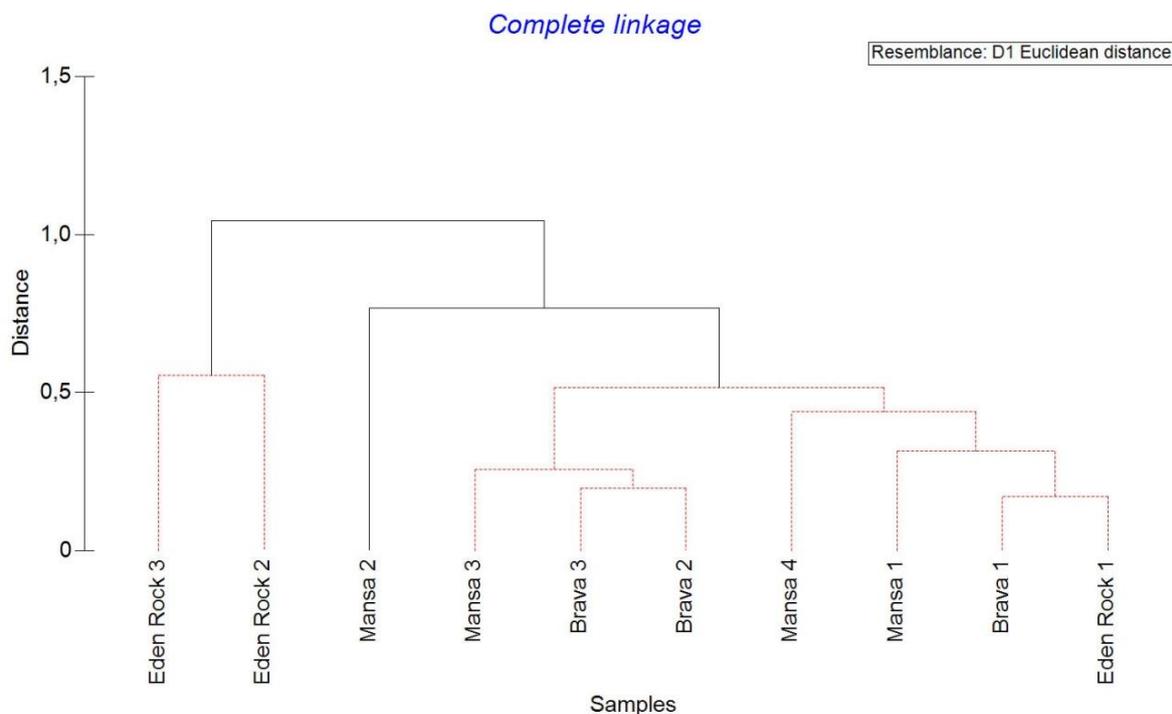


**Figura 14.** Descomposición gráfica del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes por sitio del arco de playa Mansa. Se señala a la derecha el código de colores de cada sitio junto con su valor.

El arco de playa Edén Rock se destaca por su orientación la que favorece una alta dinámica eólica y sedimentaria que condiciona al ensamble vegetal y promueve la conformación de un cordón dunar de buena expresión. Resulta una excepción el sitio 1 el cual influenciado por la porción final del arroyo Solís Chico no recibe sedimentos por vía aérea disminuyendo su capacidad para regenerar la estructura de la duna frontal. La corta longitud del arco de playa Brava se refleja en la homogeneidad observada entre sitios, destacándose por presentar una pobre estructura dunar y un alto índice de cobertura vegetal. Por su parte en el arco de playa Mansa con excepción de la condición geomorfológica los diversos índices se expresan en un amplio rango, dando cuenta de una importante diversidad de condiciones entre sitios. Este arco se caracteriza por presentar una orientación poco favorable para el transporte aéreo de sedimentos que se extiende en forma de espiral logarítmica desde el afloramiento rocoso ubicado en el sitio 1; así como una importante variación de la presión antrópica entre sitios. Estos resultados dan cuenta de la necesidad de plantear las medias de manejo a escala de sitios, en consonancia con la variabilidad de la vulnerabilidad observada a lo largo de la zona de estudio.

## Ordenamiento de sitios respecto al IVPF

Respecto al ordenamiento de sitios en base a los sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes, el análisis de agrupamiento presenta dos nodos estadísticamente significativos ( $p \leq 0.01$ ), demarcando tres conjuntos: Mansa 2; Edén Rock 2 y 3; y el resto de los sitios (N=7) (Figura 15).



**Figura 15.** Agrupamiento de sitios en base a los sub índices de vulnerabilidad a las principales forzantes relevados el 26/03/2012. Se señala en negro las agrupaciones estadísticamente significativas (97%).

El análisis de agrupamiento demuestra la existencia de tres tipos de situaciones en el área de estudio. La primera caracterizada por una alta dinámica costera con una favorable incidencia eólica que promueve la formación de un cordón dunar de buena expresión y un ensamble vegetal de características acordes. La segunda es caracterizada por la situación puntual del sitio 2 del arco de playa Mansa, donde la presión antrópica alcanza su máxima expresión en la zona de estudio al punto que se ve afectada la cobertura vegetal y la condición geomorfológica. El tercer conjunto engloba a la mayor parte de los sitios donde se observan diversas variaciones en la expresión de las forzantes que conforman la vulnerabilidad. Análisis de este tipo hacen posible la planificación a gran escala de las medidas de gestión sin dejar de considerar la variabilidad de la vulnerabilidad a nivel de sitios.

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) se presentan en la tabla 14 y la figura 16, la cual representa la distribución de los sitios en el espacio de escalamiento multidimensional conformado en base a los subíndices de vulnerabilidad. Los círculos y símbolos representan la distancia y están basados en el análisis de agrupamiento de sitios respecto a los subíndices de vulnerabilidad presentado en la figura 15. El primer componente principal (57.3% de la variación) está positivamente correlacionado con el sub índice de condición vegetal (ICV) y el de incidencia eólica (IIE), siendo éstos los que presentan un mayor coeficiente y estando relacionados con la capacidad de resiliencia. El segundo componente principal (25.5%) presenta la mayor correlación con el sub índice de presión antrópica (IPA) y en menor grado negativa con el índice de incidencia marina (IIM); dando cuenta de la envergadura y variación de la dimensión antrópica de la vulnerabilidad en la zona de estudio.

**Tabla 14.** Resultados del análisis de componentes principales (PCA) en base a los sub-índices de vulnerabilidad.

**PCA**  
Principal Component Analysis

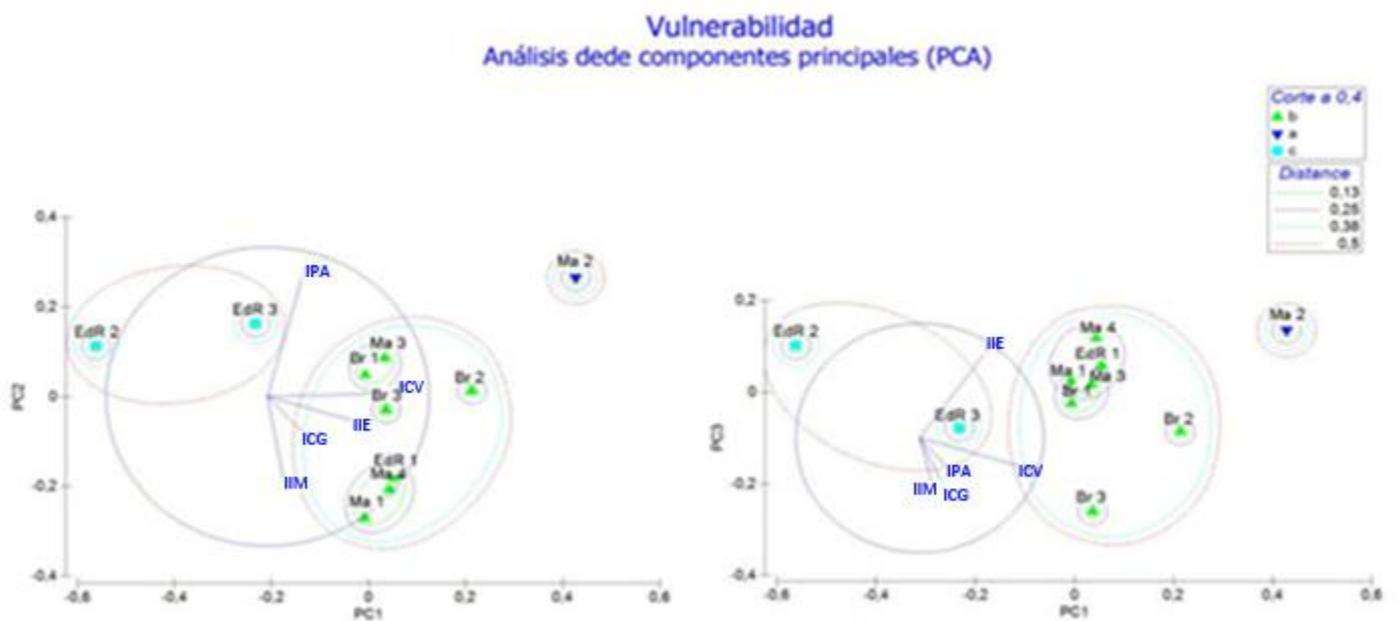
Data worksheet  
Name: Data1  
Data type: Environmental  
Sample selection: All  
Variable selection: All

Eigenvalues

PC	Eigenvalues	%Variation	Cum.%Variation
1	6,71E-2	57,3	57,3
2	2,98E-2	25,5	82,8
3	1,42E-2	12,2	94,9
4	4,35E-3	3,7	98,6

Eigenvectors  
(Coefficients in the linear combinations of variables making up PC's)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
IGD	0,209	-0,230	-0,453	-0,004
IIM	0,098	-0,548	-0,385	0,630
IIE	0,519	-0,159	0,726	0,359
ICV	0,795	0,021	-0,242	-0,450
IPA	0,212	0,788	-0,247	0,521



**Figura 16.** Resultados del análisis de componentes principales en base a los sub índices de vulnerabilidad combinado con el análisis de agrupamiento de sitios de la figura 15.

## Índice de Capacidad Adaptativa

La tabla 15 presenta los valores obtenidos de los índices de capacidad adaptativa (ICA) por sitio, cuyo rango fue de 0.40 a 0.79; resultando el sitio 1 del arco de playa Edén Rock el que presentó el mayor valor y el sitio 1 del arco de playa Mansa el menor de la zona de estudio. Los sitios 2 y 3 del arco de playa Edén Rock presentaron valores intermedios. El arco de playa Brava también presentó valores intermedios en los sitios 1 y 3, mientras que el sitio 2 presentó el mayor valor del arco de playa (ICA= 0.62). El arco de playa Mansa con excepción del sitio 1 presentó valores altos.

**Tabla 15.** Índice de capacidad adaptativa (ICA) por sitio. Se destacan en tonos de gris valores superiores a 0.5; 0.6 y 0.7.

Arco de playa	Edén Rock			Brava			Mansa			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
ICA	0.79	0.45	0.54	0.52	0.62	0.46	0.4	0.61	0.69	0.59

La capacidad adaptativa de la zona de estudio se caracteriza por presentar en su mayoría valores altos. Respecto al manejo los escasos y poco efectivos esfuerzos conforman el marco general el cuál se agrava en sitios que presentan una acotada capacidad de resiliencia ecológica y ancho de playa.

### *La vulnerabilidad de la zona de estudio en el contexto mundial*

La comparación de los resultados de vulnerabilidad obtenidos en el presente estudio con los reportados en otros lugares es relativa y sólo puede realizarse en base al IVPF dada su semejanza con la vulnerabilidad calculada en la bibliografía consultada. En los trabajos de referencia buena parte de los parámetros incluidos en el ICA fueron tratados aparte para el cálculo de un índice de manejo con el que se contrastaba la vulnerabilidad, mientras que en el presente trabajo fueron incluidos en su cálculo bajo la concepción de que el manejo y la planificación forman parte de la dimensión antrópica del sistema costero, integrando así estos aspectos en el cálculo de la vulnerabilidad.

En relación a los trabajos realizados en el continente europeo por Bodéré et al. (1991) y Davies et al. (1995), los cuales abarcaron extensos campos dunares de Francia, Gran Bretaña y Portugal en entornos rurales cuya presión de uso fue de media a baja, puede decirse que el rango de vulnerabilidad por éstos calculado (IV= 0.36 – 0.64) es semejante al observado en este estudio (IVPF= 0.25 - 0.63), destacándose el sitio 2 del arco de playa Edén Rock por el bajo valor presentado (IVPF=0.25). Por su parte el trabajo realizado por Williams y Davies (2001) en Gran Bretaña sobre la costa de Wales abarcando 26 sistemas dunares presenta un rango de vulnerabilidad de 0.24 – 0.65, prácticamente igual al observado en la zona de estudio considerada en esta tesis.

En dicho estudio, 3 de los sitios presentaron valores de vulnerabilidad en el rango 0.23 – 0.29, comparables al sitio dos del arco de playa Edén Rock; 17 en el rango 0.29 - 0.42; 5 en el rango 0.43 – 0.63, mismo en el cual se presentaron todos los restantes sitios de la zona de estudio considerada en el presente trabajo; mientras que el restante sitio analizado por los autores alcanzó el valor máximo de 0.65 superando por escasa diferencia el valor máximo observado en la presente tesis.

Martínez et al. (2006) determinaron la vulnerabilidad del sistema costero en el golfo de México, abarcando varias localidades en 902km de costa, observando un rango de vulnerabilidad de 0.30 – 0.54; por lo que en relación a la zona de estudio contemplada en la presente tesis el sitio dos del arco de playa Edén Rock se presentó por debajo del mismo, 4 sitios se presentaron dentro de él y 6 por encima.

De la bibliografía consultada el trabajo realizado por Tabajara et al. (2005) resulta el más comparable a la zona de estudio considerada en la presente tesis, tanto por tratarse de un sistema costero urbanizado como por resultar el de más próxima ubicación, localizándose a 900km aprox. en la ciudad Capão da Canoa, Río grande del sur (Brasil). El autor evaluó la vulnerabilidad en 17 sitios de 250m de extensión cada uno obteniendo un rango de 0.40 a 0.77 el cual contiene con excepción del sitio dos del arco de playa Edén Rock al rango determinado en la zona de estudio considerada en esta tesis; presentando 6 sitios con un valor superior.

En relación a lo expuesto la determinación del IVPF realizada parece comparable a los trabajos consultados, destacándose la variabilidad observada en la zona de estudio.

### CAPÍTULO 3: TASA DE ACRECIÓN / EROSIÓN HISTÓRICA Y MÁXIMA OBSERVADA EN EL TRAMO DE COSTA CONSIDERADO

Se presentan los resultados del análisis de la evolución histórica de la línea de costa. Debe tenerse en cuenta al interpretar los datos que los sitios 1 y 2 del arco de playa Edén Rock presentaron una alta dinámica dirigida por los movimientos de la desembocadura del arroyo Solís Chico, lo que distorsiona el cálculo de los balances debido a que involucra cambios en la orilla opuesta que escapan a la extensión del área de estudio considerada.

Son observables diversas tendencias en la variación del área respecto a los tres *proxy* de línea de costa entre arcos de playa durante el período de estudio (tabla 16). En términos generales Edén Rock presentó una tendencia general al incremento con una fase estática a levemente erosiva en el período 1966 - 1980. El arco de Playa Brava presentó una fase de pérdida desde el registro inicial en el año 1937 hasta 1980 a partir del cual se revirtió la tendencia presentando acreción dando como resultado un balance neto prácticamente nulo. El arco de playa Mansa presentó a los sitios 1 y 2 muy estables, con escasa variación mientras que el sitio 3 presentó una fase de pérdida desde 1937 a 1980 y una de ganancia desde entonces al año 2006 registrando una pérdida neta de área. El sitio mansa 4 presentó una pérdida de superficie entre los dos registros obtenidos correspondientes a los años 1937 y 2006.

**Tabla 16.** Variación del área (Hectáreas) en todos los sitios para tres indicadores de costa durante el período 1937- 2006. Se destaca en tonos de gris valores negativos.

Arco de Playa	Edén Rock					Brava			Mansa				
	Sitio	1	2	3	3a	3b	1	2	3	1	2	3	4
<b>Período</b>	<b>Indicador Escarpa de erosión (ES)</b>												
<b>1937 - 1966</b>						-0.2	-0.07	-0.17				-6.06	-2.73
<b>1966 - 1980</b>						0.11	-0.05	-0.06				-3.28	
<b>1937 - 1980</b>									0.08				
<b>1967 - 2006</b>													-7.95
<b>1980 - 2006</b>	-2.3	-1.92	4.81	1.07	3.74	0.18	0.07	0.23	0			1.01	
<b>1937 - 2006</b>						0.03	-0.02	0	0.08			-2.78	-5.34
	<b>Indicador Punto de afloramiento de la napa freática (GWEP)</b>												
<b>1937 - 1966</b>					4.28	0.02	0.05	-0.27	-0.32	-0.74	-5.23		
<b>1966 - 1980</b>	-3.03	-0.66	-1.1	-1.21	0.11	-0.44	-0.12	-0.15	0.3	0.55	-3.14		
<b>1980 - 2006</b>	-3.4	-2.34	3.84	1.66	2.18	0.27	0.07	0.46	0.01	-0.44	2.32		
<b>1937 - 2006</b>					6.57	-0.15	0.01	0.04	-0.02	-0.63	-6.05	-7.59	
	<b>Indicador Marca de marea alta previa (PHWM)</b>												
<b>1937 - 1966</b>					3.74	-0.36	0.06	-0.02	-0.35	-1.1	-9.64		
<b>1966 - 1980</b>	-3.1	0.02	0.04	-0.44	0.48	-0.24	-0.09	-0.34	-0.07	0.79	-2.63		
<b>1980 - 2006</b>	-3.21	-0.24	8.32	3.47	4.85	0.58	0.27	0.76	0.11	1.17	5.55		
<b>1937 - 2006</b>					9.07	-0.02	0.24	0.4	-0.31	0.86	-6.72	-8.28	

La tabla 17 presenta el índice de ganancia pérdida de playa IG/PP por sitio, calculado en base a los tres indicadores de línea de costa utilizados. En términos generales puede observarse una fase erosiva desde el comienzo de los registros hasta el año 1980; posteriormente hasta el siguiente y último registro del año 2006 se observa una fase de acreción. El sitio Edén Rock 3 se subdividió en dos debido a que para las series de 1937 y 1966 se cuenta con imágenes parciales del mismo (tabla 1).

**Tabla 17.** Índice de Ganancia/Pérdida de Playa (metros cuadrados / año / metro lineal de playa) calculado en base a tres indicadores de línea de costa. Se destaca en tonos de gris valores negativos.

Arco de Playa	Edén Rock					Brava			Mansa			
Sitio	1	2	3	3a	3b	1	2	3	1	2	3	4
<b>Período</b>	<b>Indicador Escarpa de erosión (ES)</b>											
1937 - 1966						-0.22	-0.18	-0.14			-1.4	-0.42
1966 - 1980						0.26	-0.26	-0.1			-1.56	
1980 - 2006	-0.92	-0.94	0.5	0.25	0.72	0.22	0.21	0.21	0		0.26	
1967 - 2006												-0.52
1937 - 2006	-0.92	-0.94	0.5	0.25	0.72	0.08	-0.08	-0.01	0		-0.9	-0.47
	<b>Indicador Punto de afloramiento de la napa freática (GWEP)</b>											
1937 - 1966					0.75	0.02	0.14	-0.23	-0.29	-0.76	-1.21	
1966 - 1980	-2.29	-0.61	-0.22	-0.53	0.04	-1	-0.65	-0.25	0.57	1.17	-1.5	
1980 - 2006	-1.36	-1.14	0.4	0.38	0.42	0.33	0.22	0.41	0	-0.5	0.59	
1937 - 2006	-1.83	-0.88	0.09	-0.07	0.4	-0.22	-0.1	-0.02	0.09	-0.03	-0.71	-0.5
	<b>Indicador Marca de marea alta previa (PHWM)</b>											
1937 - 1966					0.65	-0.4	0.17	-0.01	-0.33	-1.13	-2.22	
1966 - 1980	-2.34	0.02	0.01	-0.19	0.17	-0.54	-0.49	-0.58	-0.13	1.67	-1.25	
1980 - 2006	-1.28	-0.12	0.87	0.8	0.93	0.69	0.78	0.69	0.11	1.31	1.4	
1937 - 2006	-1.81	-0.05	0.44	0.31	0.58	-0.08	0.15	0.03	-0.11	0.62	-0.69	-0.55

En relación a la variación neta promedio en la posición de los indicadores de costa empleados, el arco de playa Edén Rock presentó en el sitio 3 una importante acreción respecto a todos los *proxy* (tabla 18). El arco de playa Brava presentó en su sitio 1 poca variación, mientras que el sitio 2 presentó un avance relativamente importante siendo éste más atenuado en el sitio 3. Respecto al arco de playa Mansa, el sitio 1 presentó escasa variación respecto a los indicadores escarpa de erosión y punto de afloramiento de la napa freática, sin embargo presentó un retroceso aproximado de siete metros respecto al indicador línea de marea alta previa. El sitio 2 presenta un comportamiento diverso entre indicadores denotando un proceso de acreción (aumento del indicador línea de marea alta previa) caracterizado por la disminución en altura del prisma de playa (reducción del indicador punto de emergencia de la napa freática). Los sitios 3 y 4 presentan los mayores retrocesos lineales observados respecto a todos los *proxy* utilizados; siendo ligeramente mayores en el sitio 3. En ambos el mayor retroceso lo presentó el indicador Escarpa de erosión (ES) resultando de 51.7 y 50.5 metros, seguido del de Línea de marea alta previa (PHWM) con 44.5 y 40.1 y por último por el de Punto de afloramiento de la napa freática (GWEP) con 40.0 y 38.1 metros respectivamente.

**Tabla 18.** Variación promedio de la posición (metros) de tres indicadores de la línea de costa en el período 1937 - 2006. Se destacan en tonos de gris valores negativos.

Arco de playa		Edén Rock		Brava			Mansa			
Sitio		3	3b	1	2	3	1	2	3	4
Indicadores	ES	34		3.3	-1	0.8	-0.4		-51.7	-50.5
	GWEP	23.9	36.2	-2.2	2.8	5.1	-1	-24.3	-40	-38.1
	PHWM	44.8		-3.5	18.4	9.7	-7.3	21.9	-44.5	-40.1

Abreviaciones: ES: barranca de erosión; GWEP: punto de afloramiento de la napa freática; PHWM: línea de marea alta previa.

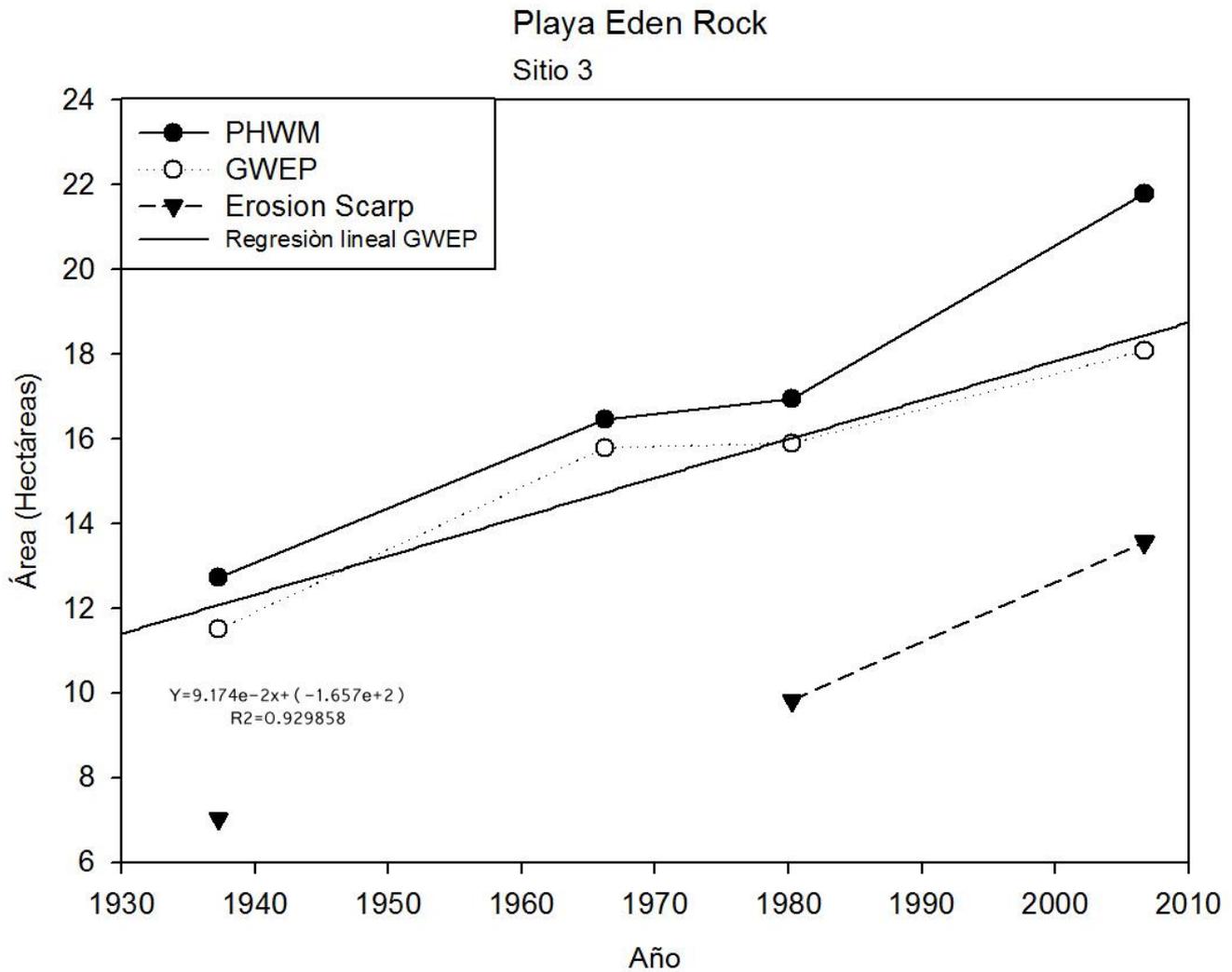
La tabla 19 presenta los índices de diferencia en porcentaje con la mayor (IDMaSPA) y menor (IDMeSPA) superficie de playa anterior respecto a la posición del último registro correspondiente al 09 de setiembre del 2006 para todos los sitios. El arco de playa Edén Rock presentó en el sitio tres la mayor expresión de su área para todos los *proxy* empleados. El arco de playa Brava en los sitios uno y dos presentó una expresión algo menor a la máxima observada durante el período de estudio, pero considerablemente mayor a la menor expresión de su área observada. El arco de playa Mansa presentó importantes diferencias entre indicadores para un mismo sitio así como entre sitios. El sitio uno de dicho arco presentó una situación relativamente estable, mientras que el sitio dos una situación más compleja presentando una importante acreción respecto al indicador PHWM a la vez que una pérdida respecto al indicador GWEP. El sitio tres presentó una situación intermedia, con una importante pérdida de área respecto a la mayor superficie previa relativa a todos los indicadores utilizados, aunque considerablemente mayor a la menor expresión de su superficie observada durante el período de estudio. Por su parte el sitio cuatro presentó la menor superficie de área de toda la serie temporal estudiada, respecto a todos los indicadores de costa empleados.

**Tabla 19.** Índice de diferencia como porcentaje con la mayor (IDMaSPA) y menor (IDMeSPA) superficie de playa anterior por sitio calculado en base a tres indicadores de posición de la línea de costa.

Arco de playa		Edén Rock					Brava			Mansa			
Sitio		1	2	3	3a	3b	1	2	3	1	2	3	4
<b>IDMaSPA</b>													
Indicador	PHWM	-29.8	-2	0	0	0	-0.6	0	0	-5.9	0	-28.2	-7.8
	GWEP	-31.4	-26.5	0	0	0	-5.6	-5.8	0	-0.4	-16	-33.5	-7.6
	ES	-15.9	-22.8	0	0	0	0	-8.7	0	0		-50.2	-10.9
<b>IDMeSPA</b>													
Indicador	PHWM	0	0	26.7	24.2	71.2	18.6	32.5	29.9	2.2	55.5	48	0
	GWEP	0	0	13.4	13.1	57.1	11	11.6	22.4	7.3	3.5	24	0
	ES	0	0	25.3	11.7	92.9	14.7	18.8	14.8	1.9		14	0

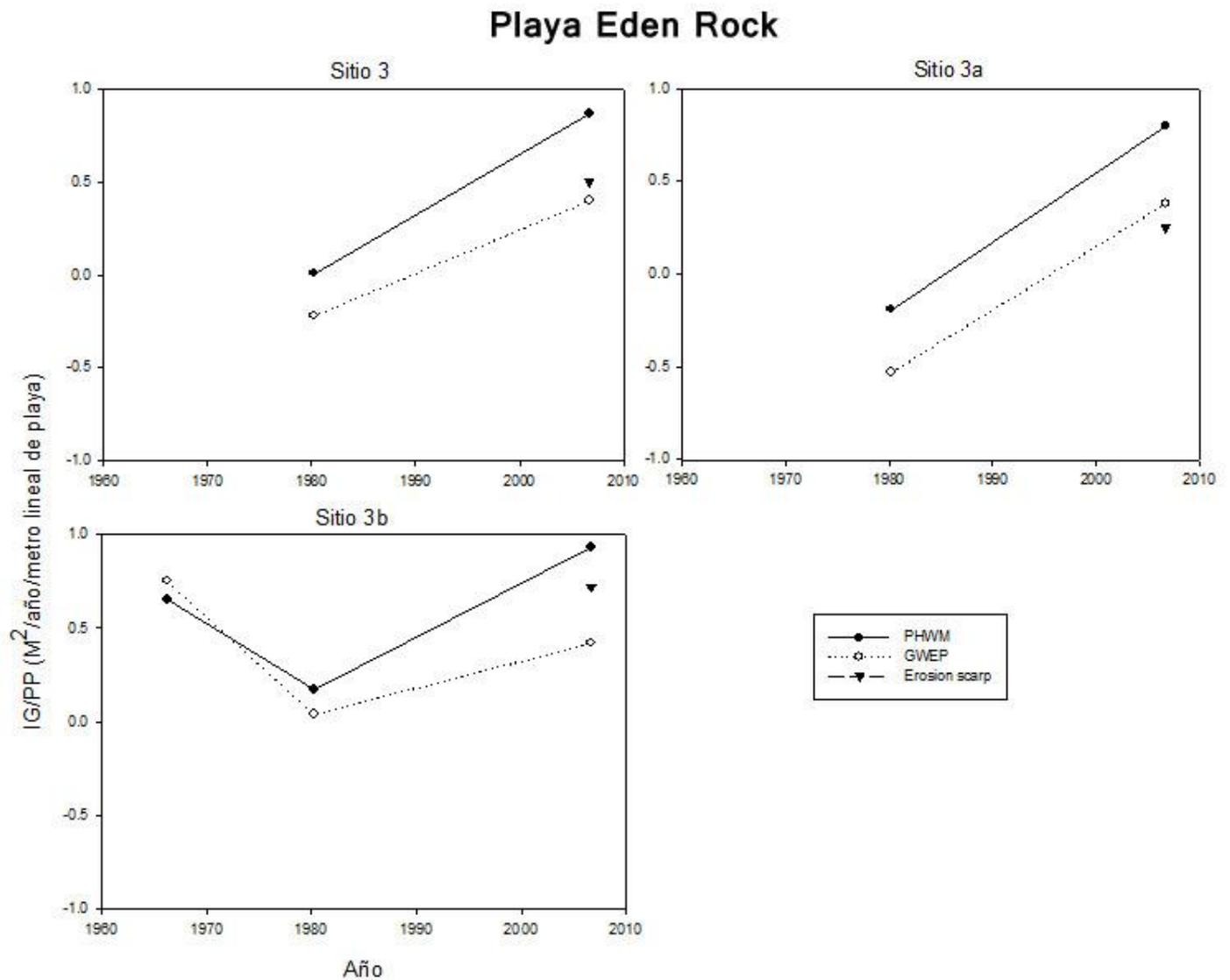
Abreviaciones: ES: barranca de erosión; PHWM: línea de marea alta previa; GWEP: punto de afloramiento de la napa freática.

La figura 17 presenta la evolución del área del sitio tres del arco de playa Edén Rock durante el período de estudio. Se aprecia un notorio incremento del área respecto a los tres indicadores de costa considerados, el cual sufrió una fase de estancamiento en el período 1966 - 1980.



**Figura 17.** Variaciones del área (hectáreas) del sitio tres del arco de playa Edén Rock respecto a los indicadores de la línea de costa Línea de marea alta previa (PHWM), Punto de afloramiento de la napa freática (GWEP) y Escarpa de erosión (ES) durante el período 1937- 2006.

La figura 18 presenta el índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Edén Rock del cual únicamente se analizó el sitio tres; siendo éste subdividido en dos partes en función de la cobertura de la secuencia de imágenes aéreas empleadas. Se observa un importante proceso de acreción el cual presentó una merma durante el período 1966-1980, para posteriormente y hasta el último registro cobrar vitalidad, siendo poco más intenso en el sector oeste del sitio 3 respecto a su porción este.



**Figura 18.** Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Edén Rock para tres indicadores de línea de costa durante el período 1937 - 2006. Se excluyó del análisis los sitios Edén Rock 1 y 2.

### *Arco de playa Edén Rock sitios 1 y 2*

Los sitios Edén Rock 1 y 2 representan el 32.3% del arco de playa y contienen a la desembocadura del arroyo Solís Chico el que genera una alta dinámica geomorfológica; requiriendo la determinación de su evolución de un estudio en sí mismo, sobrepasando el alcance de la presente tesis. Sin embargo a partir de las imágenes de los años 1966, 1980 y 2006 (figuras 19, 20 y 21), se evidencia que en la década del sesenta, la aparición de un segundo punto de descarga al este que provocó el aporte de arena desde el extremo de la proyección hacia la playa de Parque del Plata colmatando el punto de descarga relicto y produciendo un aumento del ancho de playa en ese sector. Unos quince años después se observa la colmatación gradual de la vía de descarga anteriormente activa y el desplazamiento hacia el Oeste de la desembocadura acompañada del crecimiento de la proyección de la playa en la orilla opuesta; retomando la línea de costa la posición presentada en la década del sesenta aproximadamente 40 años más tarde. Dicha apertura de un segundo punto de descarga fue generada artificialmente en un intento por reducir la erosión causada por el desplazamiento de la desembocadura sobre el cordón dunar en la década del sesenta. La Dirección de Hidrografía del Ministerio de Transporte y Obras Públicas construyó un dique de arena para interceptar el curso sobre la playa y abrió una salida más directa al mar, obras que fueron paulatinamente destruidas por acción eólica, marina y fluvial (MTO-PNUD 1979).



**Figura 19.** Desembocadura del arroyo Solís Chico el 22/03/1966. Obsérvense las lagunas formadas por el antiguo canal al producirse el cambio de punto de descarga.



**Figura 20.** Desembocadura del arroyo Solís Chico el 19/03/1980. En negro se señala el *proxy* GWEP (punto de surgencia de napa freática) correspondiente al año 1966 denotando el proceso de colmatación de la antigua vía de drenaje y un desplazamiento hacia el Oeste de la desembocadura.



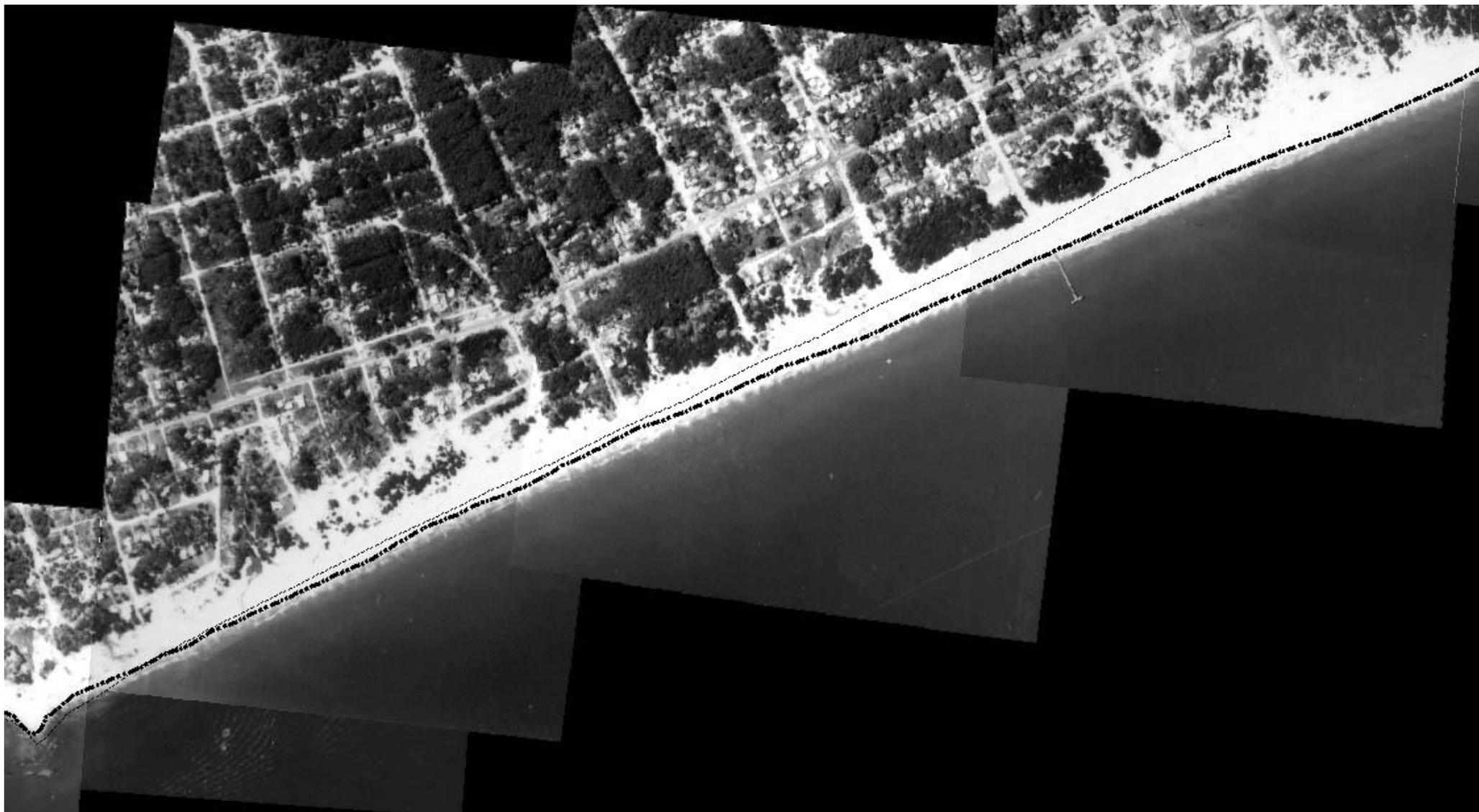
**Figura 21.** Desembocadura del arroyo Solís Chico el 09/09/2006. La línea sólida señala el *proxy* GWEP (punto de surgencia de napa freática) correspondiente al 22/03/1966 y la punteada correspondiente al 19/03/1980. Nótese el desplazamiento hacia el Oeste de la desembocadura.

### *Arco de playa Edén Rock sitio 3*

La evolución geomorfológica de este sitio se caracteriza por un aumento sostenido del área presentando una fase de estancamiento a levemente erosiva en el período 1966,22 - 1980,22 (figuras 22 a 25). Dicho incremento se observó en todos los indicadores, por lo que además de un crecimiento del área (PHWM), hubo un aumento del volumen del prisma de playa (GWEP) (figuras 17 y 18). El crecimiento lineal promedio del ancho de playa varió entre 23,9 a 44,8 metros dependiendo del indicador contemplado (tabla 18). La sub división de este sitio en dos partes permitió distinguir una mayor tasa de acreción sobre su porción oeste (sitio 3b), donde el IG/PP presentó valores positivos en todo el período estudiado y el índice de diferencia con la menor superficie de playa anterior (IDMaSPA) indica un crecimiento notoriamente superior al presentado en su mitad este (tablas 17 y 19).



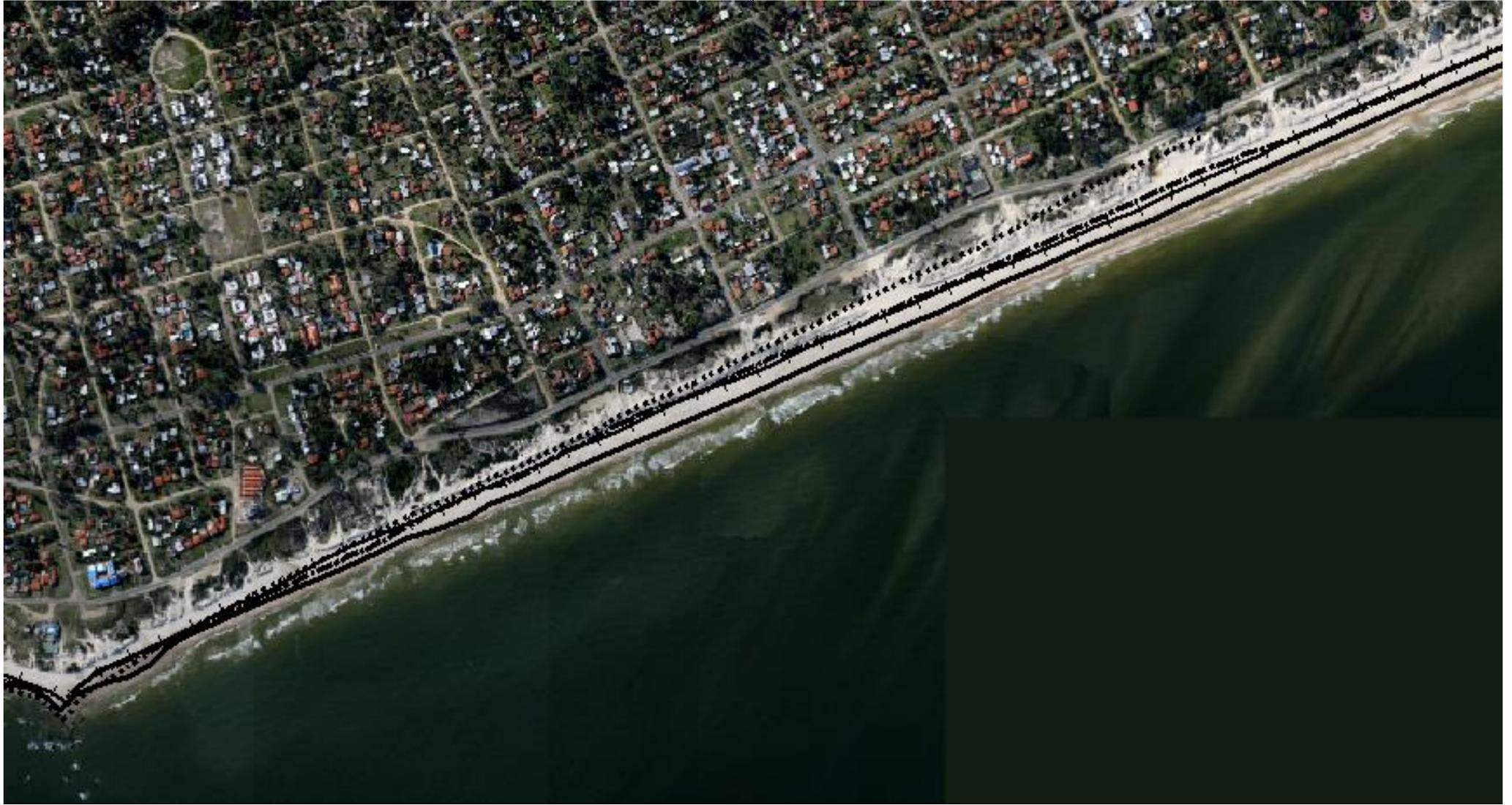
**Figura 22.** Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 10/04/1937. Se presenta en punteado el proxy PHWM.



**Figura 23.** Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 22/03/1966 presentándose el proxy PHWM en negrita combinado punto y raya y en punteado el del año 1937.



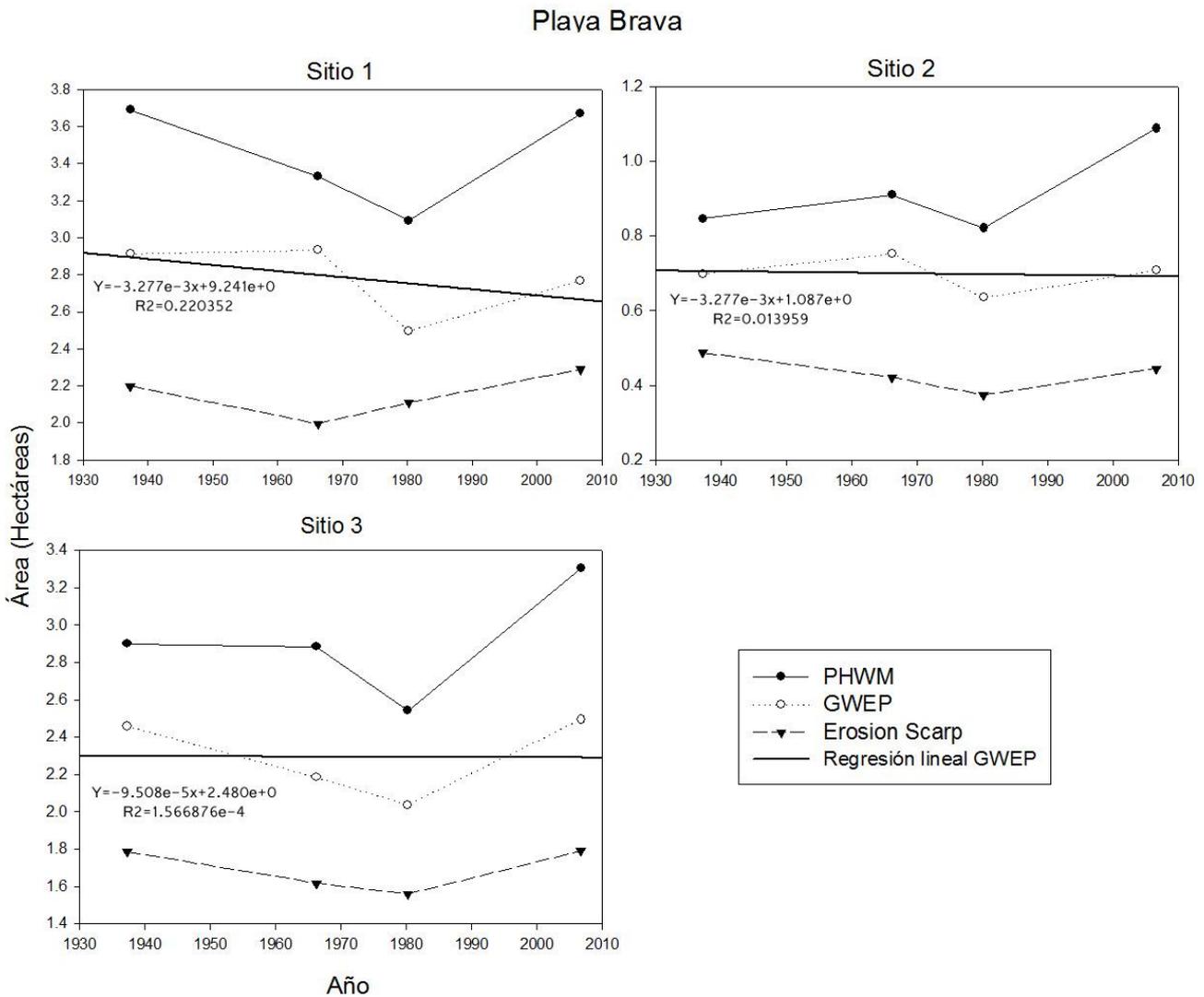
**Figura 24.** Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 19/03/1980 presentándose el proxy PHWM correspondiente en negrita como línea solida con barras paralelas, combinado punto y raya respecto al año 1966 y en punteado al del año 1937.



**Figura 25.** Arco de playa Edén Rock sitio 3b el 09/09/2006 presentándose el proxy PHWM correspondiente en línea sólida, línea sólida con barras perpendiculares, combinado punto y raya y punteado para los años 1980, 1966 y 1937 respectivamente.

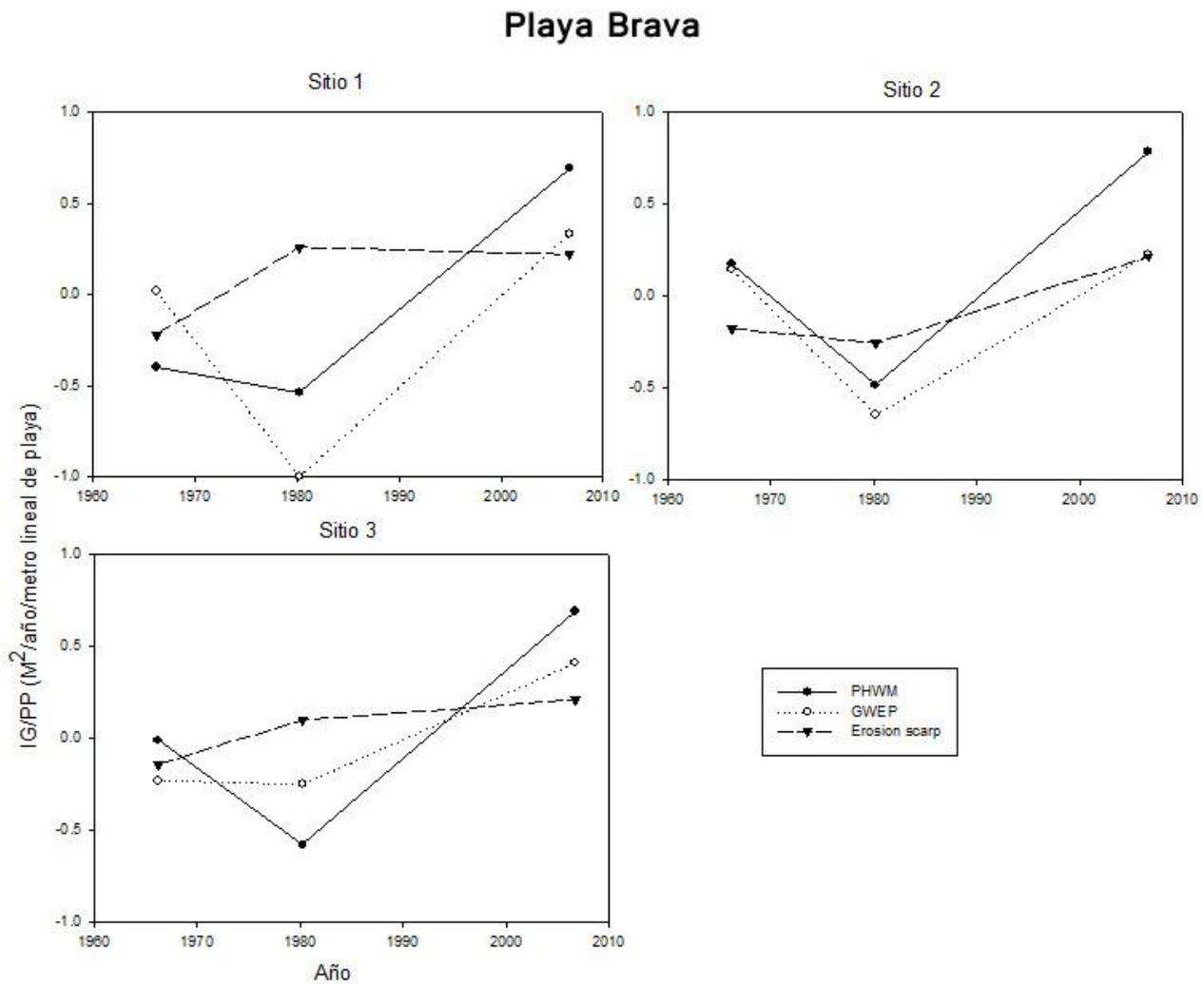
Arco de playa Brava

La figura 26 presenta la evolución del área del arco de playa Brava durante el período de estudio respecto a los tres indicadores de costa empleados (PHWM, GWEP, Erosion Scarp). En términos generales presentó una fase erosiva en el período 1937 - 1980; con excepción del indicador Erosion scarp en el sitio uno que presentó una fase de acreción durante el período 1966 - 1980. En el período 1980 - 2006 sobre todo el arco de playa el conjunto de indicadores empleados señalaron una fase de acreción.



**Figura 26.** Variaciones del área por sitio del arco de playa Brava durante el período 1937- 2006 respecto a los indicadores de la línea de costa Línea de marea alta previa (PHWM), punto de emergencia de la napa freática (GWEP) y escarpa de erosión (Erosion Scarp).

La playa Brava presentó tendencias dispares en la evolución del IG/PP en función del indicador contemplado durante el período 1937 – 1966 (figura 27). Posteriormente todos los indicadores presentan un período erosivo entre los años 1966 y 1980 (a excepción del indicador escarpa de erosión (ES) en el sitio 1); el cual se caracterizó en los sitios 1 y 2 por la pérdida de prisma de playa, siendo ésta más aguda en el primero, mientras que el sitio 3 a diferencia del resto acusó una mayor pérdida de área relativa al indicador Línea de marea alta previa (PHWM) respecto al resto de indicadores. En el último período 1980 – 2006 sucede una etapa de acreción pronunciada en todo el arco de playa, con aumento tanto de área como de prisma de playa.



**Figura 27.** Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Brava para tres indicadores durante el período 1937 - 2006.

### *Arco de playa Brava sitio 1*

Este sitio presenta una anomalía respecto al comportamiento del indicador escarpa de erosión (ES) en comparación a los demás indicadores durante el período erosivo sucedido entre los años 1966 y 1980; ya que mientras todos en todos los sitios presentan un valor negativo del IG/PP, en este sitio presenta un valor positivo relativamente alto. En las fotos aéreas del año 1937 son apreciables signos de la extracción de arena (figura 28), mientras que en el año 1966 el sistema presenta signos de recuperación (se observa vegetación en primera línea), manteniendo una geoforma tipo *blowout* a pesar de que no fue hasta principios de la década del setenta cuando se prohibió la extracción de áridos de la playa Brava como medida experimental para paliar la erosión que afectaba al arco de playa Mansa. En el año 1980 se observa en primera línea vegetación y una escarpa de erosión en una posición coherente con el resto del sitio y en el 2006 se aprecia el antiguo punto de deflación con una mayor cobertura vegetal y una barranca de erosión en una posición acorde al resto del sitio. Actualmente hay una pequeña cañada intermitente producto de aquella explotación de áridos y deflaciones producidas por el tránsito peatonal irregular por sobre el cordón dunar, del que se aprecian signos desde el inicio del período de estudio.



**Figura 28.** Composición de imágenes del sitio uno de la Playa Brava de los años 1937; 1966; 1980 y 2006 respectivamente. Son distinguibles signos de extracción de arena (huellas de vehículos y un pozo en cuyo centro aflora la napa freática) en la primera imagen y de recuperación en las sucesivas imágenes. Se señala en color azul el indicador Erosion Scarp correspondiente al año 1966.

En base a los índices de diferencia con la mayor y menor superficie de playa anterior (tabla 19) y las consideraciones previas, se infiere que el balance sedimentario neto correspondiente al período de estudio fue levemente negativo (5.6% menos respecto al mejor escenario real observado); caracterizado por una pérdida del prisma de playa y el mantenimiento de su área.

### *Arco de playa Brava sitio 2*

La evolución del área del sitio sigue el patrón general del arco, presentando para el período de estudio un balance neto negativo respecto a los indicadores Erosion Scarp y GWEP (-8.7% y -5.8% respectivamente) y positivo respecto a PHWM (32.5%) (tablas 16, 17, 19 y figuras 26 y 27). Esto sugiere una fase de “achatación” donde el retroceso de la escarpa de erosión y pérdida del prisma de playa se combina con el aporte a nivel marino de sedimentos.

### *Arco de playa Brava sitio 3*

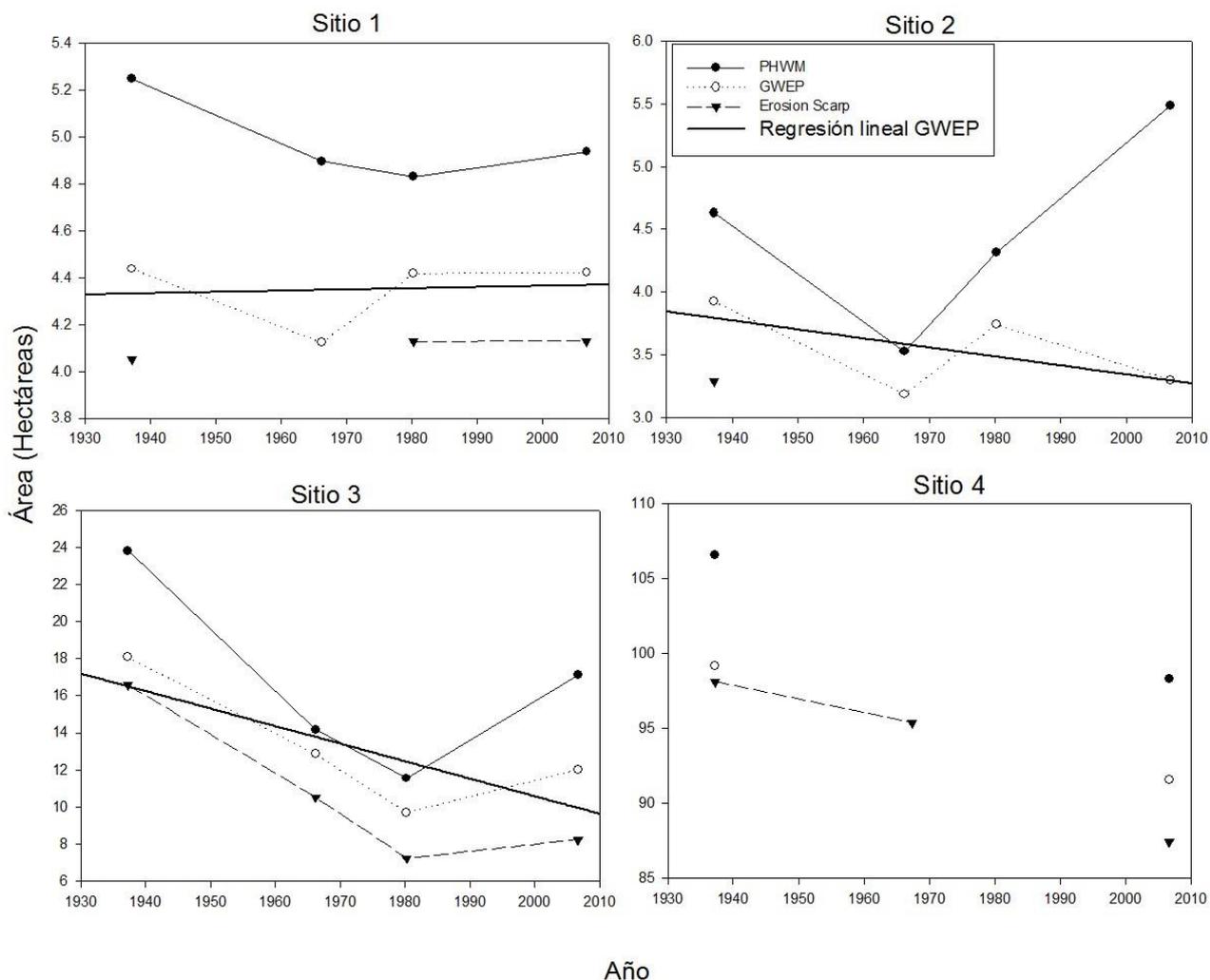
La evolución de los indicadores de línea de costa empleados develan una etapa erosiva desde el inicio de los registros hasta el año 1980 (figuras 26 y 27), a partir del cual hasta el año 2006 deviene un período de pronunciada acreción. El índice IG/PP da como resultado un balance neto del área ligeramente positivo (PHWM) y una ligera pérdida del prisma de playa (GWEP y ES), mientras que los índices IDMaSPA e IDMeSPA señalan para el período considerado variaciones de área entre el 15% (ES) y el 30% (PHWM) en función del indicador de costa considerado (tabla 19).

### *Arco de playa Mansa*

La figura 29 presenta la variación del área del arco de playa Mansa durante el período de estudio. En el período 1937–1966 todos los sitios presentaron una disminución de su área respecto al conjunto de indicadores utilizados; difiriendo posteriormente la evolución del área entre sitios. El sitio 1 a partir de dicha fase erosiva hasta el año 1980 presentó un incremento del área respecto al indicador GWEP y un leve descenso del área respecto al indicador PHWM, señalando una recuperación del prisma de playa; para en el último período (1980 -2006) no presentar cambios importantes en los indicadores considerados. En el sitio 2 a partir de la fase erosiva del período 1937 - 1966 le sigue una fase de acreción hasta el año 1980 y a partir de entonces hasta el registro del 2006 se aprecia una notable fase de acreción caracterizada por un incremento respecto al indicador PHWM y un descenso respecto al GWEP señalando un aumento de área con disminución de la altura del prisma de playa. Respecto al sitio 3 todos los indicadores de costa indican una extensión del período erosivo desde el primer registro hasta el año 1980, a partir de la cual todos los indicadores presentan una fase de acreción hasta el último registro correspondiente al año 2006.

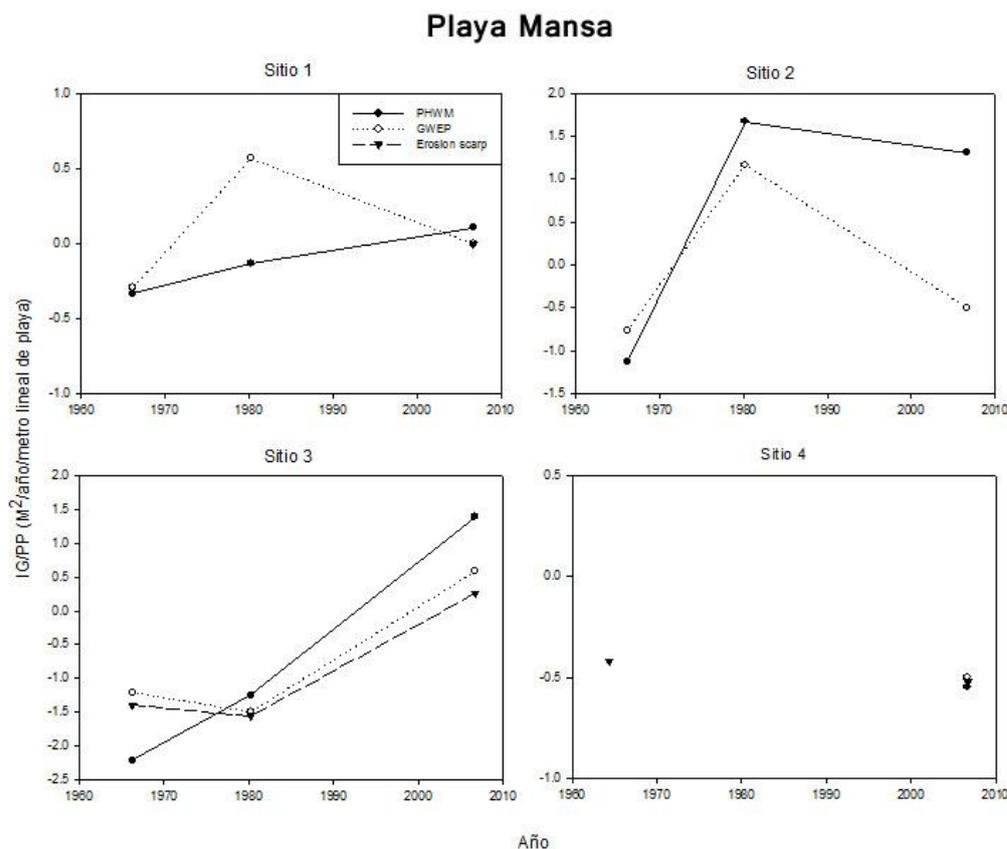
El sitio 4 no presentó una adecuada cobertura de las imágenes aéreas contándose con registros completos para el inicio y el final de la serie, mientras que para el correspondiente al año 1967 resultó legible únicamente el indicador escarpa de erosión (ES); indicando la información obtenida un fuerte período erosivo respecto a todos los indicadores en el período de estudio.

### Playa Mansa



**Figura 29.** Variaciones del área por sitio respecto a tres indicadores de la línea de costa del arco de playa Mansa durante el período 1937- 2006 respecto a los indicadores de la línea de costa línea de marea alta previa (PHWM), punto de emergencia de la napa freática (GWEP) y escarpa de erosión (Erosion Scarp).

La figura 30 presenta la evolución del índice de ganancia/pérdida de playa del arco de playa Mansa durante el período de estudio. En el período 1937-1966 los sitios 1, 2 y 3 presentaron un proceso erosivo cuya magnitud presentó un gradiente ascendente en el sentido Este-Oeste. El sitio 4 presentó un proceso erosivo durante el período de estudio, el cual se agudizó en el registro correspondiente a la fecha 2006 respecto al que presentó en la fecha 1937. A partir del registro de 1966 cada uno de los sitios 1, 2 y 3 evoluciona de manera diferente. El sitio 1 presenta una recuperación del prisma de playa a la vez que una desaceleración en la pérdida de área respecto al indicador Línea de marea alta previa; para en el último período presentar una situación estable. El sitio 2 presentó un fuerte proceso de acreción el que alcanzó los mayores valores del IGPP registrados involucrando tanto un aumento de área como del prisma de playa para posteriormente en el último período (1980-2006) presentar una desaceleración del proceso de acreción respecto al índice de Línea de marea alta previa junto a la pérdida de prisma de playa. En el sitio 3 el proceso erosivo se continuó hasta el registro del año 1980 presentando una desaceleración de la erosión respecto al indicador Línea de marea alta previa y una leve agudización del proceso erosivo respecto a los restantes indicadores, para en el último registro correspondiente a la fecha 2006 observarse una fase de acreción pronunciada respecto al indicador línea de marea alta previa, pero leve respecto al resto de los indicadores empleados.



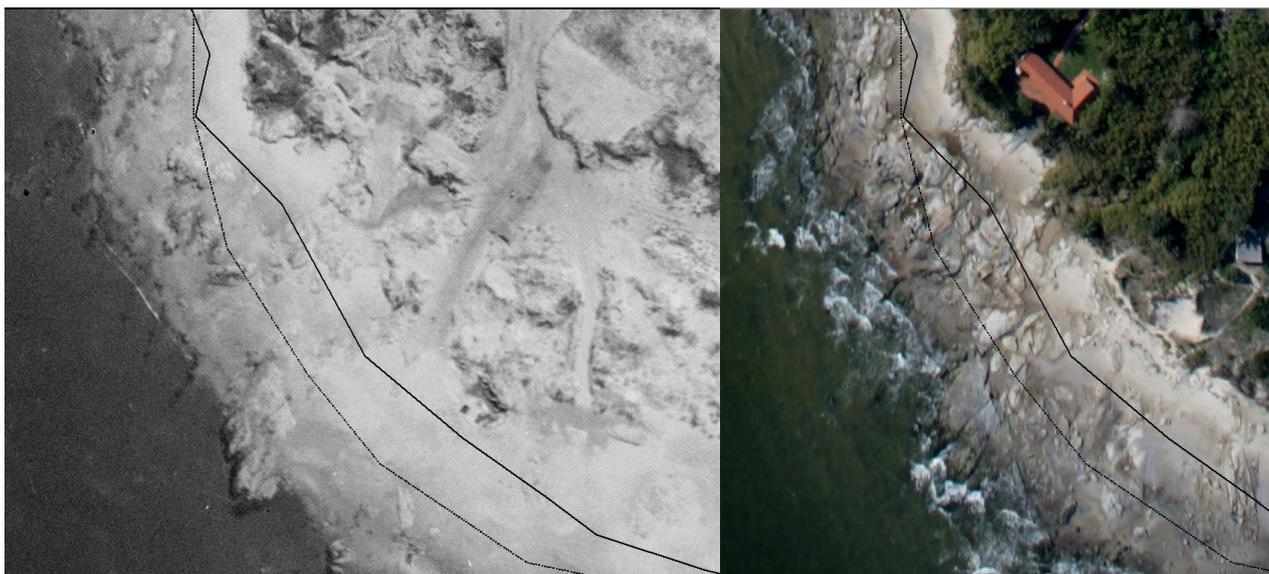
**Figura 30.** Índice de Ganancia / Pérdida de Playa del arco Mansa para tres indicadores durante el período 1937 - 2006.

### *Arco de playa Mansa sitio 1*

Este sitio se caracteriza por la presencia en toda su extensión de afloramientos rocosos que le confieren gran estabilidad (figura 31). Durante el período de estudio presentó muy escasas variaciones de su área en todos los indicadores de costa empleados; siendo PHWM el que tiene la mayor siendo ésta de carácter erosivo. La poca extensión del sitio y su conformación geológica pueden estar enmascarando el proceso, aunque la comparación de las imágenes del primer y último registro hace evidente el descubrimiento del afloramiento rocoso (figura 32).



**Figura 31.** Arco de playa Mansa sitio uno presenta afloramientos rocosos en toda su extensión.



**Figura 32.** Playa Mansa sitio 1 a la izquierda el 10/04/1937 y a la derecha el 09/09/2006, se presenta el indicador PHWM en punteado y continuo para los años 1937 y 2006 respectivamente. Nótese el descubrimiento del afloramiento rocoso respecto al año 1937.

#### *Arco de playa Mansa sitio 2*

El sitio dos del arco de playa Mansa en el período 1937 - 1966 presentó una importante fase erosiva que implicó tanto una pérdida del prisma de playa como de su área y posteriormente se destaca la evolución positiva del IG/PP con un aumento del área y prisma de playa durante el siguiente período 1966 - 1980 durante el cual los restantes arcos de playa denotaron una fase de equilibrio o erosión pronunciada. Este efecto contrario al balance de los restantes arcos se debe a la implantación de la batería de espigones en la década del setenta. En el último período 1980 – 2006, el IG/PP denota una pérdida del prisma de playa y un incremento de la tasa de acreción respecto al indicador PHWM; indicando el balance neto durante el período de estudio una pérdida del prisma de playa del 16% respecto al mejor escenario previo y un incremento del área (PHWM) del 55% en relación al peor escenario anterior.

### *Arco de playa Mansa sitio 3*

La evolución del área de este sitio y por ende del IG/PP acompaña a grandes rasgos el patrón general: fase erosiva durante el período 1937 – 1966, que se agudiza en el siguiente (1966 - 1980) implicando un retroceso de la escarpa de erosión, la pérdida del prisma y la disminución del área de playa. En el último período (1980 – 2006) se revierte la tendencia pasando a una fase de acreción coincidiendo con la implantación de espigones; medida que se tomó a partir de los resultados obtenidos con la primera batería de tres emplazados en el sitio dos. Respecto al área, el balance neto durante el período de estudio indica una pérdida tanto del prisma como del área de playa (tabla 16), implicando el mayor retroceso lineal de la zona de estudio cuyo promedio está en el rango 40 a 51.7 metros dependiendo del indicador empleado (tabla 18). En términos relativos a la mayor y menor superficie de playa anterior, la implantación de los espigones produjo una recuperación acentuada respecto al área de playa (PHWM), moderada respecto al prisma de playa (GWEP) y en menor medida en relación a la posición de la barranca de erosión (ES) (tabla 19).

### *Arco de playa Mansa sitio 4*

La evolución geomorfológica del sitio cuatro del arco de playa Mansa durante el período de estudio denota un retroceso respecto a todos los indicadores empleados. No fue posible determinar estados intermedios dada la falta de cobertura de las imágenes del vuelo del 19/03/1980 y la baja calidad de las correspondientes al vuelo del 20/05/1967, que solo posibilitaron trazar el indicador escarpa de erosión. Sin embargo la presencia dominante durante todo el período considerado en primera línea de un perfil de barranca inestable seguido de una playa relativamente estrecha y de baja pendiente, al punto de aflorar la napa freática al pie de la barranca en gran parte de su extensión (figura 33) sugiere que el proceso erosivo ha sido continuo presentando signos de erosión recientes principalmente en el límite con el sitio tres (figura 34), disminuyendo el retroceso hacia el extremo oeste (figura 35). Son altos los valores de retroceso lineal observado, oscilando en promedio de 38.1 a 50.5 metros en función del indicador considerado (tabla 18). La pérdida de área en el período de estudio fue de entre 7.6 a 10.7 hectáreas, la cual queda enmascarada en el IG/PP y los IMaSPA, IMeSPA por la gran extensión del sitio (tablas 17 y 19). El estrecho rango de valores presentado por el IG/PP para los tres indicadores refleja el mantenimiento durante el retroceso de la relación entre el ancho de playa, su prisma y la posición relativa de la barranca de erosión.



**Figura 33.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando el afloramiento de la napa freática. Nótese la carencia de cobertura vegetal sobre su límite con el sitio tres.



**Figura 34.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando derrumbes recientes. Nótese la posición de la boya dejada por la resaca de tormenta al pie de la barranca.



**Figura 35.** Arco de Playa Mansa el 10/04/1937 presentando el proxy PHWM en línea sólida, sólida con barras perpendiculares, combinado en punto y raya y punteado para los años 2006, 1980, 1966 y 1937 respectivamente.

En base a los resultados obtenidos se infiere que la punta rocosa que separa a los arcos de playa Edén Rock y Brava actúa como una barrera porosa al flujo subacuático de sedimentos, actuando como un espigón natural y resultando parte de los sedimentos captados volcados al sistema dunar por los vientos fuertes dominantes. El arco de playa Brava presenta una posición favorable, captando sedimentos a nivel subacuático en sus afloramientos rocosos que a su vez ejercen un control de la incidencia marina y estabilizan la costa; mientras que la alineación de la misma posibilita el flujo aéreo de sedimentos. Por su parte el arco de playa Mansa presenta una tendencia a la erosión debido a su orientación respecto a los vientos fuertes que no favorece el flujo aéreo de sedimentos y consecuente formación de un cordón dunar, resultando baja su capacidad de resiliencia ecológica. El efecto erosivo es contenido en el sitio 1 por el afloramiento rocoso presente y en los 2 y 3 por la batería de espigones implantada que logra retener parte del flujo subacuático de sedimentos generando un perfil de playa de baja pendiente. Sin embargo las corrientes de retorno que éstos generan dejan sin disponibilidad de sedimentos al último espigón no logrando detener al proceso erosivo en el sitio 4.

## Tasa de retroceso máxima observada

La tabla 20 presenta la tasa erosiva máxima observada durante el período de estudio. El arco de playa Edén Rock presentó la tasa máxima de retroceso durante el periodo 1937 – 1966, siendo ésta la más baja de la zona de estudio durante el período considerado. El arco de playa Brava presentó durante el periodo 1966 – 1980 la tasa de retroceso máxima en todos sus sitios, la cual exhibe un gradiente descendente en el sentido Este – Oeste. En el arco de playa Mansa se calculó la tasa de retroceso máxima para los períodos 1937 – 1980 y 1980 – 2006 correspondiente a la dinámica pre y post implantación de los espigones respectivamente. Durante la etapa previa a la implantación de los espigones la tasa de retroceso máxima fue exhibida por el indicador marca de marea alta previa (PHWM) y ocurrió en el periodo 1937 – 1966 en todos sus sitios a excepción del sitio cuatro en el cual ocurrió en el periodo 1967 – 1980, siendo ésta la máxima observada de toda la zona de estudio en el período considerado. Luego de la implantación de los espigones el sitio dos presentó la mayor tasa de retroceso relativa al indicador punto de afloramiento de la napa freática (GWEP), mientras que el sitio tres presentó una tasa positiva en todos los indicadores de costa resultando escarpa de erosión (ES) el de menor magnitud.

**Tabla 20.** Tasa erosiva máxima observada en metros por año por sitio.

<b>Arco de playa</b>	<b>Edén Rock</b>	<b>Brava</b>			<b>Mansa</b>			
<b>Sitio</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Tasa (m/año)</b>	-0.31	-1.14	-0.8	-0.46	-0.32	-1.06	-2.11	-4.22
<b>Indicador</b>	GWEP	GWEP	GWEP	PHWM	PHWM	PHWM	PHWM	PHWM
<b>Metros</b>	-9	-16	-11.2	-6.4	-9.2	-30.8	-61.2	-59
<b>Período</b>	1937 – 1966	1967 – 1980	1966 – 1980	1966 – 1980	1937 – 1966	1937 – 1966	1937 - 1966	1967- 1980

Tasa erosiva máxima observada luego de la construcción de los espigones.

<b>Arco de playa</b>	<b>Mansa</b>	
<b>Sitio</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Tasa (m/año)</b>	-0.52	0.19
<b>Indicador</b>	GWEP	ES
<b>Metros</b>	-13.7	5.1
<b>Período</b>	1980 – 2006	1980 – 2006

Abreviaciones: ES: barranca de erosión; PHWM: marca de marea alta previa; GWEP: punto de afloramiento de la napa freática.

La evolución reciente de la línea de costa más allá de las variaciones espaciales observadas adjudicables a las diversas conformaciones geomorfológicas y orientaciones de la línea de costa relativas a la corriente de deriva litoral y vientos fuertes entre sitios; presenta variaciones temporales. Las que estarían dando cuenta de cambios en la dinámica costera de mayor escala.

La tabla 21 presenta la relación entre las tasas de erosión presentadas en la tabla 20 y la distancia a la infraestructura. En base al peor escenario observado los períodos de afectación en todos los sitios presentaron valores en términos de mediano y largo plazo. El arco de playa Edén Rock presentó en el sitio tres un período de afectación a largo plazo. El arco de playa Brava presentó considerables diferencias en el período de afectación entre sitios, presentando el sitio dos el menor período de afectación de la zona de estudio. El arco de playa Mansa presentó también considerables diferencias entre sitios.

**Tabla 21.** Período de afectación basado en la relación distancia a Infraestructura / Tasa de erosión máxima observada.

Arco de playa	Edén Rock	Brava			Mansa			
Sito	3	1	2	3	1	2	3	4
<b>Distancia a infraestructura</b>	53	50	23	74	103	47	15	175
<b>Distancia a infraestructura / Tasa máx. observada</b>	170	44	29	161	323	91	-	38

Al igual que en otras playas urbanas uruguayas (Gutiérrez 2010) el arco de playa Mansa presenta grandes intervenciones antrópicas que han cambiado el comportamiento del sistema. Efectivamente la batería de espigones implantada en los sitios dos y tres ha afectado las tasas de acreción / erosión como lo denota el IG/PP (tabla 17 y figura 30); por lo que para dichos sitios se tomó en cuenta exclusivamente la tasa del período 1980 – 2006. De acuerdo a los resultados obtenidos **los sitios dos y tres de la playa Brava** junto al **cuatro de la Mansa** presentan un período de afectación menor a 50 años (tablas 20 y 21); este último sitio a diferencia de los primeros que presentan una urbanización continua por detrás, se caracteriza por una baja y dispersa ocupación, teniendo el potencial de verse afectadas unas pocas edificaciones y pudiendo por tanto considerarse de menor prioridad. Cabe destacar que si bien el **sitio tres de la playa Mansa** presenta una tasa positiva para el período 1980 – 2006, su bajo prisma de playa y pendiente le tornan vulnerable frente a mareas meteorológicas, siendo posible identificar en diversos puntos una barranca de erosión activa a corta distancia a la infraestructura (15 metros) a partir del relevamiento fotográfico realizado durante el muestreo.

## Evolución reciente de la línea de costa

La evolución geomorfológica reciente de la zona de estudio claramente demuestra que los procesos costeros no son continuos espacial ni temporalmente. Espacialmente las diferencias en la orientación de la línea de costa respecto a los vientos fuertes y la corriente de deriva litoral podrían explicar las tendencias de cada arco de playa: el arco de playa Edén Rock su tendencia a la acreción, Brava con una tendencia estática y el arco de playa Mansa una más compleja que va de estática a erosiva en el sentido este-oeste. Temporalmente el sistema costero presentó importantes fluctuaciones en la tasa de acreción/erosión sugiriendo variaciones en el volumen de ingreso de sedimentos respondiendo a procesos de mayor escala que podrían estar vinculados a oscilaciones climáticas tales como El Niño y la oscilación del Atlántico Multidecadal (Ortega et al. 2013; Gutiérrez et al. 2016). Otros cambios geomorfológicos de menor escala fueron vinculados a intervenciones puntuales de origen antrópico. Respecto a los cambios a gran escala, el período de acreción observado a partir del año 1980 en gran parte de la zona de estudio se corresponde con el registrado por Gutiérrez y Panario (2005a) en la desembocadura del arroyo Pando; mientras que los procesos erosivos continuos observados en el arco de playa Mansa sobre las barrancas de Villa Argentina coinciden con el comportamiento observado al este de la zona de estudio en la localidad de Las Vegas (MTOPE-PNUD 1979). Teniendo en consideración que el retroceso del acantilado sedimentario de más de siete metros de altura ubicado en Villa Argentina fue estimado en el presente estudio entre 0.1 y 0.7 metros por año para el período 1937-1967 y entre 0.4 y 1.2 metros por año para el período 1967-2006; en 0.6 metros por año entre los años 1985 y el 2003 por Gutiérrez & Panario (2006) y de entre 0.55 y 2.10 metros al año en el período 2005-2006 por Goso Aguilar et al. (2008), los procesos erosivos y por lo tanto la transferencia de sedimentos entre sitios tendría un comportamiento variable.

El estudio de la evolución reciente de la línea de costa en zonas aledañas junto a la estimación de los volúmenes de sedimento intercambiados ofrece la posibilidad de establecer una estrategia de manejo a mediano y largo plazo a escala regional basada en la identificación de sitios proveedores y receptores de sedimentos. Posibilitando anticipar las reacciones del sistema a fluctuaciones en las tasas de erosión en los sitios proveedores (debidas a acciones de protección frente a la erosión en un sitio particular u otras causas).

En este marco la identificación y seguimiento de los pulsos de sedimentos permitiría establecer nuevas estrategias de manejo, ya que sería posible dirigir medidas específicas para la captación y regeneración dunar al lugar y momentos donde dichos esfuerzos resultaran más eficientes. De ello se desprende que **cualquier tentativa para implementar una agenda de manejo debe partir desde una amplia perspectiva espacial y temporal.**

## CAPÍTULO 4: RECOMENDACIONES PARA LA ELECCIÓN DE MEDIDAS DE REGENERACIÓN DUNAR POR SITIO Y PAUTAS PARA LA GENERACIÓN DE UNA AGENDA DE MANEJO PRIORIZADA.

En base a los resultados obtenidos gran parte de la zona de estudio presenta capacidad de resiliencia ecológica, siendo necesario incrementar la capacidad adaptativa del sistema costero desde dos niveles: manejo y conductas de uso. **El orden a seguir en el desarrollo de las medidas de gestión debe responder principalmente al riesgo de erosión, la vulnerabilidad y la capacidad de acción.** Los sitios **Edén Rock 1, Brava 1 y 2 junto a Mansa 3 resultan prioritarios**, sugiriéndose la implementación inmediata de medidas de manejo, a saber: la implantación y/o reacondicionamiento de infraestructura de acceso junto a medidas complementarias de restricción del acceso irregular, encauzamiento y regeneración dunar. Por su parte el sitio dos del arco de playa Mansa demanda medidas de manejo particulares como ser: elevación del prisma de playa la cual puede lograrse mediante el relleno de arena y/o el aumento de la infiltración por disminución del nivel freático. Si bien este sistema ya ha sido implantado, no ha recibido mantenimiento ya ha dejado de funcionar. Esto brinda una importante lección: **la elección de medidas debe hacerse en base a la capacidad de manutención de la IMC y debe estar enmarcada en una agenda de manejo planificada la cual disponga de una asignación anual presupuestada.** Si se optara por volcar arena para aumentar el prisma de playa se recomienda emplear sedimentos de granulometrías iguales o superiores a las presentes; favoreciendo esta medida indirectamente la estabilidad de todo el arco de playa Mansa. En primera instancia no se recomienda emplear recursos en medidas de recuperación dunar dado que la gran confluencia de público y actividades harían muy difícil su mantenimiento y la escasa resiliencia ecológica resta eficacia a dichas medidas. Es un sitio de alta concurrencia que el cuerpo de Guardavidas lo caracterizó como un público altamente rotativo, por lo que se identifica como un buen punto para la implementación de medidas de educación a distancia (cartelería) y sensibilización; debiendo incluir particularmente contenidos de seguridad y advertencia dirigidos a los bañistas dado que a causa de las corrientes de retorno de los espigones e imprudencias ocurren cada temporada situaciones de peligro y fatalidades.

En cuanto al sitio cuatro de la playa Mansa, éste resulta ser proveedor de sedimentos para las playas ubicadas al oeste siendo recomendable se mantenga una baja ocupación del mismo y se prevea un área de retroceso para evitar futuros conflictos. La **infraestructura temporal** (paradores e instalaciones asociadas) instalada durante la temporada estival **genera un notorio impacto en la duna frontal siendo dispuesta generalmente sobre la misma. Debe restringirse su ubicación a nivel de playa** y el desarrollo de las actividades relacionadas debe minimizar su impacto sobre la duna frontal; siendo aceptable como única excepción a esta recomendación las instaladas en el sitio dos del arco de playa Mansa.

Respecto a las **medidas de regeneración dunar**, la IMC ha optado acertadamente por **el emplazamiento de trampas de arena, sin embargo resulta escasa la envergadura de las acciones realizadas, bajo su mantenimiento y nula la capacidad de pasar a una fase de revegetación, tornado improductivos los esfuerzos realizados.** Las medidas de regeneración dunar para ser efectivas **requieren ser implementadas regularmente dos veces por año:** previo al inicio de la temporada de vientos del sector este (primavera) y sur oeste (invierno). Es importante resaltar la necesidad de su **mantenimiento, el disponer de plantines de especies constructoras de duna** que permitan pasar a una fase de revegetación y **eliminar la especie exótica invasora *Carpobrotus edulis* de la duna frontal** en toda la zona de estudio. Teniendo en cuenta las características de la evolución geomorfológica costera en la zona de estudio, la acumulación de sedimentos dada por el desarrollo de los cordones dunares representa una acción necesaria para hacer sostenible el proceso de gestión a mediano y largo plazo, dado que permitirían amortiguar periodos erosivos a la vez que suplir de sedimentos a otras zonas durante los mismos. Por ende debe procurarse mantener temporalmente y expandir espacialmente el emplazamiento de trampas de arena.

En relación a las conductas de uso **el impacto antrópico generado por el acceso irregular sobre el cordón dunar resulta relevante.** Del análisis de la densidad de accesos tanto regulares como irregulares se infiere que bajo la **situación actual, caracterizada por la falta de educación ambiental costera, de señalización adecuada y de libre circulación; la densidad de accesos es de 2 a 3 por cada 100 metros.** Teniendo en cuenta que el arco de playa Brava presenta una alta densidad de accesos irregulares a pesar de contar con suficiente infraestructura (particularmente el sitio 2), hay que **considerar en ciertos casos medidas adicionales para la restricción del acceso irregular y su encausamiento** con el fin de hacerlos efectivos. La restricción del acceso irregular desde la playa y la recuperación dunar

pueden en general combinarse mediante la implantación de barreras para la acumulación de arena. Poco a poco se van instalando nuevos accesos principalmente en la playa Edén Rock; sin embargo **tanto los antiguos accesos como los nuevos presentan problemas de diseño que provocan la deflación de la duna frontal ya que finalizan justo por encima de la misma**. En el caso de los antiguos accesos, deberían de emplearse como base para colocar pasos elevados, que se extiendan por sobre la duna frontal.

La cuantificación aproximada del volumen de las medidas necesarias es esencial para la planificación y elaboración de una agenda de manejo, en ese sentido se brinda la tabla 22 la cual resume los tipos y envergadura de medidas necesarias. Respecto al relleno con áridos del sitio dos del arco de playa Mansa, el volumen presentado alcanzaría para elevar aproximadamente en 50cm el nivel del suelo, siendo para ello factible volcar las arenas voladoras que alcanzan la rambla en la localidad de Parque del Plata.

**Tabla 22.** Lista de medidas de manejo por sitio detallándose entre el volumen total y el prioritario.

Arco de playa		Edén Rock			Brava			Mansa				Total
Sitio		1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	
RAI* desde rambla	Prioritario	244	125	530	154	100	90	0	0	483	0	1726
	Total	994	125	1519	264	100	209	0	0	835	0	4046
RAI desde la playa	Prioritario	240	402	2454	300	150	131	0	0	707	0	4384
	Total	552	647	3819	300	150	131	0	0	707	0	6306
Accesos regularizados	Implantación prioritaria	2	0	2	2	0	0	0	0	7	0	13
	Implantación total	5	1	16	2	0	1	0	0	8	0	33
	Reacondicionamiento			7	1	1	2	1	0	1	0	13
Rellenado		0	0	0	0	0	0	0	14000m <sup>3</sup>	0	0	14000m <sup>3</sup>

\* Abreviaciones: RAI= restricción de accesos irregulares.

## Recomendaciones a nivel de sitios

En el Anexo se brinda una descripción de la dinámica costera a nivel de sitios generándose a partir de la integración de la información obtenida las siguientes recomendaciones:

### *Arco de playa Edén Rock sitio 1*

En base a lo observado el manejo del punto de descarga del arroyo Solís Chico como medida para provocar el aporte de sedimentos y consecuente ensanchamiento de playa en este sitio y el adyacente es una posibilidad factible. Su implementación requiere de una planificación previa que contemple un programa de captación de sedimentos y regeneración dunar; así como la evaluación del impacto que generaría en las actividades recreativas que se desarrollan en esta porción del arroyo. La escasa distancia a la infraestructura que presenta en parte de su extensión demanda atención y medidas cautelares de manejo, particularmente la protección de la cobertura vegetal, el manejo de la infraestructura de acceso y la restricción del acceso irregular.

### *Arco de playa Edén Rock sitio 2*

En base a lo expresado este sitio presenta una baja prioridad de manejo en relación al resto de los sitios de la zona de estudio, sugiriéndose la extensión de los accesos regularizados de forma que acompañen el desarrollo de cordón dunar finalizando a barlomar de la duna frontal.

### *Arco de playa Edén Rock sitio 3*

De acuerdo a los resultados obtenidos se sugiere el manejo de los puntos de acceso regularizados de forma que no afecten a la duna frontal y canalicen efectivamente a los usuarios. Prestando particular importancia a aquellos asociados a las grandes áreas de estacionamiento y los ubicados en zonas de pesca. En dichos puntos se sugiere la restricción del acceso sobre la duna frontal y el uso de trampas de arena como medidas de protección y restauración dunar. Además se recomienda la restricción a la implantación de estructuras temporales sobre la duna frontal.

### *Arco de playa Brava sitio 1*

Por lo expuesto se sugiere la asociación a las áreas de estacionamiento de accesos regulares así como la restricción al acceso irregular. Como principal medida de regeneración dunar se sugiere la disposición de trampas de arena.

### *Arco de playa Brava sitio 2*

En base a los resultados obtenidos se sugiere la restricción al acceso irregular y todas las actividades desarrolladas sobre el cordón dunar; así como el manejo del acceso regularizado en particular su señalización y reacondicionamiento para que no se vea afectada la duna frontal. Para la regeneración dunar se sugiere la eliminación de las especies exóticas sobre la duna frontal y el uso de trampas de arena. Como medida adicional se sugiere la canalización del pluvial ubicado sobre el sitio.

### *Arco de playa Brava sitio 3*

Se sugiere el manejo de los puntos de acceso regularizados en particular su reacondicionamiento de modo que no afecten la duna frontal, restringiendo el acceso sobre la misma. Como medida de regeneración dunar se recomienda el uso de trampas de arena. Respecto a la implantación de infraestructuras temporales, se recomienda restringirla a nivel de playa.

### *Arco de playa Mansa sitio 1*

En base a las características de este sitio así como de la presión antrópica a que es sometido solo se sugiere la implantación de cartelería con el fin de concientizar a los usuarios respecto al manejo de residuos.

### *Arco de playa Mansa sitio 2*

Dadas las características del sitio y la capacidad de gestión de la intendencia se sugiere el rellenado artificial de la playa como medida para elevar el nivel del prisma de playa. Se destaca la alta afluencia y rotatividad del público usuario, por lo que se sugiere el uso de cartelería informativa como medida de educación a distancia, haciendo particular hincapié en las medidas relativas a la seguridad de los bañistas.

### *Arco de playa Mansa sitio 3*

En base a lo expuesto se sugiere la creación de accesos regularizados asociados a las áreas de estacionamiento carentes de los mismos, así como la adecuación de los accesos regularizados de modo que finalicen a barlomar de la duna frontal. Se sugiere poner énfasis en la restricción de uso de la duna frontal con el objetivo de conservar su cobertura vegetal y en este sentido se recomienda la restricción a la implantación de estructuras temporales sobre la duna frontal.

### *Arco de playa Mansa sitio 4*

Se sugiere para este sitio mantener la baja densidad de ocupación de modo que el eventual retroceso de la línea de costa no genere mayores conflictos en un contexto de desarrollo a mediano y largo plazo. Debería asistirse técnicamente de los propietarios de dichas tierras en la implementación de medidas de recuperación dunar.

## **Planificación a mediano y largo plazo**

La evolución geomorfológica reciente de la zona de estudio claramente demuestra que los procesos costeros no son continuos espacial ni temporalmente. Espacialmente la identificación de sitios proveedores y receptores de sedimentos permitiría establecer estrategias de manejo en base a la determinación de las consecuencias que tendría implementar acciones contra la erosión sobre los sitios receptores vinculados.

Temporalmente la identificación de fluctuaciones de la tasa de acreción/erosión, ofrece nuevas perspectivas para el manejo a mediano y largo plazo. Por ejemplo en base al reconocimiento y seguimiento de pulsos de acreción se podrían dirigir esfuerzos adicionales para la captación y regeneración dunar en las zonas involucradas. O brindando la posibilidad de poder vincular las fluctuaciones de la tasa de acreción/erosión con factores climáticos dando la capacidad de prever la evolución futura de la línea de costa.

## Programa de seguimiento

Se propone un ciclo anual de seguimiento que conste de dos monitoreos: el primero durante la primavera permitiría evaluar el estado previo al pulso de impacto antrópico y desarrollar medidas para mitigarlo así como de regeneración dunar orientadas a los vientos estivales del sector Este; a la vez permitirá evaluar la efectividad de las medidas de regeneración dunar implementadas el invierno anterior. El segundo monitoreo se propone realizarlo al final de la temporada estival permitiendo evaluar el impacto antrópico ocurrido así como la eficacia de las medidas implantadas, a la vez que determinar las medidas de regeneración dunar a implementar durante el invierno.

## CONCLUSIONES

La adecuación de la metodología y su aplicación han permitido determinar y caracterizar la vulnerabilidad costera de un litoral urbanizado. Resultando efectiva la escala de trabajo para distinguir sus variaciones y el desarrollo acorde de pautas técnicas necesarias para incrementar su capacidad adaptativa. Debe considerarse que la adecuación de la metodología es un proceso de mejora continua debiéndose incorporar ajustes en base al conocimiento generado así como inherentes a futuros cambios del sistema costero.

La variabilidad de la vulnerabilidad del sistema se debe en mayor medida a las variaciones de los su índices de incidencia eólica y condición de la vegetación. Esto responde a variaciones en la dinámica costera vinculadas a cambios en la orientación de la línea de costa respecto a los vectores de transporte de sedimentos lo que afecta principalmente la capacidad de resiliencia ecológica; evidenciándose en las diversas conformaciones geomorfológicas que toma el sistema a lo largo de la zona de estudio. Esto nos brinda una importante pauta sobre los mecanismos que moldean y determinan la evolución de la línea de costa en el área de estudio y probablemente en la porción exterior del estuario del Río de la Plata.

Se destaca el componente antrópico de la vulnerabilidad por presentar una gran variabilidad y alcanzar en la mayor parte de los sitios un peso relativo importante. Respondiendo a inadecuadas conductas de uso así como a las escasas y poco eficaces acciones de manejo, atentando contra la capacidad de resiliencia ecológica del sistema. Esta conclusión nos brinda la pauta de que las acciones de gestión tendientes a minimizar el impacto antrópico tendrán un notorio efecto positivo en gran parte de la zona de estudio.

La capacidad adaptativa del sistema resulta baja como consecuencia de la inexistencia de una agenda de manejo basada en la vulnerabilidad y priorizada en base al riesgo de erosión. Siendo ineficaces los esfuerzos realizados por fallas técnicas en la implementación de las medidas de gestión así como por la falta de continuidad de las acciones. La incorporación en la agenda de gestión de la información generada permitiría focalizar los esfuerzos, brindarle continuidad a las acciones y adaptabilidad al proceso; incrementando la eficiencia de la gestión y capacidad adaptativa del sistema.

Ha sido posible vincular las características del ensamble vegetal respecto a las geomorfológicas y de dinámica costera a nivel de sitios. Resultando que la formación estepa

psamófila domina la zona de estudio siendo reemplazada en sitios puntuales donde se produce un relajamiento de las presiones vinculadas a la acción del viento y el mar.

La metodología implementada ha permitido determinar la evolución reciente de la línea de costa a nivel de sitios; permitiendo distinguir entre procesos geomorfológicos que responden a la dinámica actual de aquellos desencadenados por intervenciones antrópicas. Sorteando una de las mayores dificultades en la determinación de las causas que dirigen la evolución geomorfológica.

La zona de estudio presenta una alta variabilidad respecto a la tasa de erosión/acesión, atribuible a su orientación general respecto a los agentes de transporte de sedimentos; demostrándose la coexistencia de procesos antagónicos ocurriendo en simultáneo. Esta información hace posible conceptualizar la zona costera como un rosario de sitios proveedores, alojadores y receptores, resultando que la determinación de su vinculación fortalecería la gestión a escala regional.

La evolución reciente de la línea de costa además de las variaciones espaciales ha presentado variaciones temporales que la afectaron en toda su extensión, infiriéndose que dichos cambios probablemente responden a fenómenos climáticos de gran escala; siendo un candidato probable la Oscilación Multidecadal del Atlántico. El desarrollo de esta línea de investigación haría posible determinar las respuestas a lo largo del sistema costero a estos fenómenos, permitiendo anticipar sus reacciones y desarrollar políticas acordes aumentando la capacidad adaptativa.

La información generada ha permitido conceptualizar espacio temporalmente el proceso evolutivo del sistema dunar, interpretar su dinámica actual e identificar discontinuidades; posibilitando el establecimiento de prioridades y la identificación y cuantificación de medidas de manejo tendientes a disminuir la vulnerabilidad del sistema dunar brindando bases para la elaboración de una agenda de manejo costero a escala local y regional a corto, mediano y largo plazo.

## REVISIÓN METODOLÓGICA

1. Respecto al ajuste a las condiciones de una playa urbanizada de la lista de chequeo para la obtención del índice de vulnerabilidad a las principales forzantes (IVPF), el sub índice de condición geomorfológica (ICG) no pareció reflejar la estabilidad observada frente a la presencia de puntas rocosas. En relación al sub índice de presión antrópica (IPA) el mismo no cubrió la parte superior del rango como era de esperarse para algunos sitios de la zona de estudio, mientras que respecto al índice de condición vegetal (ICV) éste presentó escasa sensibilidad frente a la presencia de especies exóticas y del tipo funcional II. En todos los casos se debería considerar el ponderar algunas variables de forma que los subíndices se expresen con mayor amplitud dentro del rango aumentando su sensibilidad.

2. El índice de capacidad adaptativa (ICA) debería incorporar variables que contemplen el grado de protección legal, los fondos y medios públicos volcados, así como la continuidad de la agenda de manejo.

3. En relación al análisis de IndVal y la identificación de *Spartina coarctata* como especie detectora de sitios con baja vulnerabilidad, se requiere de un muestreo de mayor envergadura para poder confirmar a esta especie como bioindicadora de baja vulnerabilidad dado que en la zona de estudio se identificó un solo sitio con esas características (sitio 2 Edén Rock); resultando útil de todos modos el análisis para la detección de discontinuidades.

4. El uso de series temporales de fotos a nivel de playa, permitió advertir sitios potencialmente en riesgo en base a la dinámica actual del sistema, complementando el análisis del riesgo en base a la historia geomorfológica reciente. Es el caso del sitio 3 de la playa Mansa el cual de acuerdo a su evolución geomorfológica tras la implantación de los espigones no representa una situación de riesgo, y sin embargo exhibe un perfil inestable con signos de retroceso mostrándose incapaz de regenerar su estructura dunar en la secuencia de fotos obtenidas en el transcurso del presente estudio. Resulta además muy útil para determinar el impacto de infraestructuras efímeras como kioscos y casillas entre otras.

## **PERSPECTIVAS**

Retroalimentar metodología con el conocimiento generado: la metodología utilizada permite la incorporación del conocimiento a través de la inclusión de nuevas variables y/o la ponderación de las utilizadas en el cálculo de los diversos índices.

Expandir la zona de estudio particularmente hacia zonas al Este con el fin de determinar a través de la evolución geomorfológica histórica su relación con la zona de estudio en cuanto a la transferencia de sedimentos con el objetivo de identificar sitios costeros que sean fuente actual y potencial de sedimentos, además de intentar identificar especies detectoras y/o indicadoras del estado de vulnerabilidad.

Vincular los cambios temporales de la tasa de acreción/erosión con fenómenos climáticos de gran escala, con el fin de aumentar la capacidad adaptativa del sistema.

Incluir el monitoreo en la agenda municipal como parte del proceso de gestión ambiental costera.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre M, Ávila S, Collazo D, et al (2001) Una experiencia de gestión integrada costera.
- Ahmad R, Liow P-S, Spencer DF, Jasieniuk M (2008) Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. *Aquat Bot* 88:113-120. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.08.015>
- Alonso-Paz E, Bassagoda MJ (2006) Flora y vegetación de la costa platense y atlántica uruguaya. En: Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (eds) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. Montevideo, Uruguay,
- Anders FJ, Leatherman SP (1987) Effects of off-road vehicles on coastal foredunes at Fire Island, New York, USA. *Environ Manage* 11:45-52.
- Ariza FA, Belmonte MG (1985) Las adaptaciones de las plantas en las dunas litorales del sureste de España. *An Biol (Biología Ambient)* 4:11-14.
- Ayup-Zouain RN (2006) Evolución paleogeográfica y dispersión de los sedimentos del Río de la Plata. En: Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (eds) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. VIDA SILVESTRE, Montevideo, Uruguay, p 668XXXX
- Barbour MG (1970) Germination and Early Growth of the Strand Plant *Cakile maritima*. *Bull Torrey Bot Club* 97:13-22. doi: 10.2307/2483986
- Barragán Muñoz JM (1994) Ordenación, Planificación y Gestión del Espacio Litoral. Oikos-Tau eds.
- Begon M, Townsend CR, Harper JL (2006) Ecology: from individuals to ecosystems.
- Bell GP (1997) Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in southern California.
- Bidegain M, Severova V, Santos BD los (2009) Climatología regional de base.
- Bijlsma L, Ehler CN, Klein R. J. T., et al (1996) Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific - Technical Analyses. En: Watson R, Moss H, Zinyowera MC, Robert T (eds) Contribution of working group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Cambridge University Press, pp 289-324

- Boak EH, Turner IL (2005) Shoreline Definition and Detection: A Review. *J Coast Res* 21(4):688-703.
- Bodéré J-C, Cribb R, Curr R, et al (1991) La gestion des milieux dunaires littoraux. Evolution de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale. *Noréis* 279-298.
- Borg I, Groenen PJF (2005) *Modern Multidimensional Scaling Theory and Applications*, Second edi. Springer
- Bossi J, Navarro R (1991) *Geología del Uruguay*. Publicación la Univ la República, Montevideo V2: 463-970.
- Braun-Blanquet J (1979) *Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid.
- Brooks A, Agate E (2001) *Sand Dunes: a practical handboock* (1era. Ed. 1979). Doncaster, England, BTCV Institute for Environmental Conservation
- Brown D. (1954) *Methods of surveying and measuring vegetation*.
- Campos JA, Herrera M, Biurrun I, Loidi J (2004) The role of alien plants in the natural coastal vegetation in central-northern Spain. *Biodivers Conserv* 13:2275-2293. doi: 10.1023/B:BIOC.0000047902.27442.92
- Castiñeira E (2009) INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN: GEOCRONOLOGÍA DE LA VEGETACION DEL SISTEMA DE DUNAS COSTERAS DEL BALNEARIO «EL PINAR». Fcien, UDELAR
- Colwell RK (2005) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. .
- Colwell RK, Mao CX, Chang J (2004) Interpolando, extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia. *Ecology* 85 (10):2717-2727.
- Cordazzo VC, Seeliger U (1995) *Guía ilustrado da vegetacao costeira do extremo sul do Brasil*. FURG, Río Grande do Sul
- Cordazzo C V, Davy a J (1999) Vegetative regeneration of *Panicum racemosum* from rhizome fragments on southern Brazilian coastal dunes. *J Coast Res* 15:520-525.

- Costa CSB, Seeliger U, Cordazzo CV (1991) Leaf demography and decline of *Panicum racemosum* populations in coastal foredunes of southern Brazil. *Can J Bot* 69:1593-1599.
- Curr RHF, Koh a., Edwards E, et al (2000) Assessing anthropogenic impact on Mediterranean sand dunes from aerial digital photography. *J Coast Conserv* 6:15-22. doi: 10.1007/BF02730463
- D'antonio CM (1990) Invasion of coastal plant communities by the introduced succulent, *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae). Univ California, St Barbar Ph D 212.
- D'Antonio CM (1990) Seed Production and Dispersal in the Non-Native, Invasive Succulent *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae) in Coastal Strand Communities of Central California. *J Appl Ecol* 27:693-702. doi: 10.2307/2404312
- Davies P, Williams AT, Curr RHF (1995) Decision making in dune management: theory and practice. *J Coast Conserv* 87-96.
- Debez A, Ben Hamed K, Grignon C, Abdelly C (2004) Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Soil* 262:179-189.
- Deg HO, Ooststr V (2015) Global Invasive Species 2015. Species profile: *Ipomoea cairica*. <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1309>.
- Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345-366.
- Erache MG (2009) Adaptation to climate change and coastal governance in uruguay.
- Fagúndez C, Lezama F (2005) Distribución Espacial de la Vegetación Costera del Litoral Platense y Atlantico Uruguayo. 36.
- Feagin R a., Ben Wu X (2007) The Spatial Patterns of Functional Groups and Successional Direction in a Coastal Dune Community. *Rangel Ecol Manag* 60:417-425. doi: 10.2111/1551-5028(2007)60[417:TSPOFG]2.0.CO;2
- Franks Steven J., Peterson Chris J (2003) Burial disturbance leads to facilitation among coastal dune plants.
- Gallego-Fernández J, Vallés SM, Dellafiore C (2006) Introduction of exotic plants caused by beach and dune management. ... *Manag* ... 355-363.
- Galzerano J, Piñeiro G, Ramos E, Panario D (1993) Dinámica de las playas: Costa Azul, Bello

Horizonte y Guazuvirá Propuesta de manejo.

- García-Mora MR, Gallego-Fernández JB, García-Novo F (1999) Plant functional types in coastal foredunes in relation to environmental stress and disturbance. *J Veg Sci* 10:27-34. doi: 10.2307/3237157
- García-Rodríguez F, del Puerto L, Inda H; et al (2009) Variaciones del nivel del mar, cambio climático y evolución costera durante Holoceno, SE del Uruguay.
- García Gallo A, de la Torre WW, Rodríguez VM (2008) Especies vegetales consideradas invasoras de hábitats, en la Historia Natural de Canarias. *Lazaroa* 29:49-67.
- GISD (2017a) Global Invasive Species Database (2015) Species profile: *Carpobrotus edulis*. <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Carpobrotus+edulis> on 18-03-2017.
- GISD (2017b) Global Invasive Species Database (2017) Species profile: *Arundo donax*. <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Arundo+donax>.
- GISD (2017c) Global Invasive Species Database (2015). Species profile *Cynodon dactylon*. <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=202>.
- Goso H (1965) El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay, Ministerio de Industria y Comercio., Montevideo, Uruguay
- Goso Aguilar C (2004) Aspectos sedimentológicos y estratigráficos de los depósitos cuaternarios de la costa platense del departamento de Canelones (Uruguay). *Lat Am J Sedimentol Basin Anal* 13 (1) 200:77-89.
- Goso Aguilar C, Mesa V (2009) Mapas de riesgo geológico a la escala macro de la costa uruguaya y para los sitios piloto frente salino-franja costera y laguna de Rocha. Producto 7, Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay. .
- Goso Aguilar C, Muzio R (2006) Geología de la costa uruguaya y sus recursos minerales asociados. En: Menafrá R, Scarabino F, Conde D (eds) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. VIDA SILVESTRE URUGUAY, Montevideo, p i-xiv+668pp
- Goso Aguilar C, Prato D., Faure J., et al (2008) Estudio de dinámica costera en Canelones (Uruguay): primeros resultados. En: V Congreso Uruguayo de Geología. Uruguay,

- Gutiérrez O (2010) Dinámica sedimentaria en al costa uruguaya: evolución y tendencias de playas urbanas en el marco del cambio global. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo
- Gutiérrez O, Panario D (2005a) Dinámica geomorfológica de la desembocadura del Arroyo Pando, Uruguay. Geografía histórica y SIG, análisis de tendencias naturales y efectos antrópicos sobre sistemas dinámicos. *Xeográfica, Rev Xeogr Territ e Medio Ambient* 5:107-126.
- Gutiérrez O, Panario D (2006) Evolución de la desembocadura del Arroyo Pando (Canelones, Uruguay): ¿tendencias naturales o efectos antrópicos. En: Menafrá R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (eds) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. *Vida Silvestre Uruguay*. Montevideo, Montevideo, p 391-400
- Gutiérrez O, Panario D (2005b) Dinámica geomorfológica de la desembocadura del Arroyo Pando, Uruguay. Geografía histórica y SIG, análisis de tendencias naturales y efectos antrópicos sobre sistemas dinámicos. *Xeográfica, Rev Xeogr Territ e Medio Ambient* 5:107-126.
- Gutiérrez O, Panario D, Nagy GJ, et al (2016) Climate teleconnections and indicators of coastal systems response. *Ocean Coast Manag* 122:64-76. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2016.01.009
- Holling CS (1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annu Rev Ecol Syst* 4:1–23.
- Holling CS, Gunderson LH (2002) Resilience and Adaptative Cycles. En: Gunderson LH, Holling CS (eds) *Panarchy, understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington DC, pp 25-62
- INE (2011) Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.gub.uy/>.
- IPCC (2014a) Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global And Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2014b) Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Ginebra, Suiza.
- Kent M, Coker P (1992) *Vegetation Description and Analysis: A practical approach*.

- Khudamrongsawat J, Tayyar R, Holt JS (2004) Genetic diversity of giant reed (*Arundo donax*) in the Santa Ana River, California. *Weed Sci* 52:395-405. doi: 10.1614/WS-03-120R1
- Kruskal JB (1964) Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method.
- Lahitte H (1997) *Plantas de la Costa. L.O.L.A. (Literature of Latin America)*.
- Laranjeira M, Pereira A, Williams A (1999) Comparison of two checklist methods for assessment of coastal dune vulnerability. *Boletín-Instituto Esp ...* 15:259-268.
- Ley Vega de Seoane C, Gallego Fernández JB, Vidal Pascual C (2007) *Manual de restauración de dunas costeras*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas. Gobierno de España
- Lombardo A (1982) *Flora montevidensis. Tomo I. Dialipétalas*. IMM, Montevideo
- Lombardo A (1983) *Flora montevidensis. Tomo II. Gamopétalas*. IMM, Montevideo
- Lombardo A (1984) *Flora montevidensis. Tomo III. Monocotiledoneas*. IMM, Montevideo
- López-Laborde J (1987) Sedimentos superficiales de fondo en el Río de la Plata Exterior y Plataforma Adyacente. *Investig Ocean SOHMA Año I, Vol:19-30*.
- López-Laborde J, Perdomo A (1999) Diagnóstico ambiental y socio-demográfico de la zona costera uruguaya y del Río de laPlata. Compendio de los principales resultados. *Ecoplata*. Montevideo, Uruguay.
- Lozoya JP, Sardá R, Jiménez J a. (2011) A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches. *Environ Sci Policy* 14:685-696. doi: 10.1016/j.envsci.2011.05.002
- Martínez ML, Gallego-Fernandez JB, Garcia-Franco JG, et al (2006) Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environ Conserv* 33 (2):109–117.
- McCune B, Mefford MJ (1999) *Multivariate Analysis of Ecological Data*.
- Medina M (2009) Estado de situación de la infraestructura existente en la zona costera.
- MTOP-PNUD (1979) *Conservación y mejora de playas*. UNESCO, Montevideo
- Muzio R, Panario D (1990) *Erosión Litoral. Análisis estadístico de parámetros texturales*. Playa Lomas de Solymar. UNCIEP-FCIEN-UDELAR
- Nordstrom KF, Lampe R, Vandemark LM (2000) Reestablishing naturally functioning dunes

- on developed coasts. *Environ Manage* 25:37-51. doi: 10.1007/s002679910004
- Ortega L, Celentano E, Finkl C, Defeo O (2013) Effects of climate variability on the morphodynamics of Uruguayan sandy beaches. *J Coast Res* 29:747-755. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-13-00003.1
- Ottmann F, Urien CM (1966) Sur quelques problèmes sedimentologiques dans le Río de la Plata.
- Ottoman FC (1967) Introducción a la Geología Marina y Litoral.
- Padmavathy K, Poyyamoli G, Balachandran N (2010) Coastal dune flora, Nallavadu village, Puducherry, India. *Check List* 6:198-200.
- Panario D (1999) Dinámica de la costa atlántica uruguaya. in *Seminar*:9-22.
- Panario D (2000) Las playas uruguayas: su dinámica, diagnóstico de situación actual y tendencias a mediano plazo. *Perf Ambient del Uruguay* 111-124.
- Panario D, Gutiérrez O (2006) Dinámica y fuentes de sedimentos de las playas uruguayas. En: Menafra R, Rodríguez-Gallego L, Scarabino F, Conde D (eds) *Bases para la conservación y manejo de la costa Uruguaya*. Vida Silvestre Uruguay, Montevideo, pp 21-34
- Panario D, Gutiérrez O (2005) La vegetación en la evolución de playas arenosas. El caso de la costa uruguaya.
- Panario D, Piñeiro G, Gutiérrez O (2008) Propuesta técnica para la conservación recuperación de la playa del Buceo y playas certificadas de Montevideo. Informe final. 76 y anexos.
- Parker G, López Laborde JL (1989) Aspectos geológicos. En: Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata, Informe de Avance a la Comisión Administradoradel Río de La Plata. CARP-SHIN-SOHMA (Ed.),
- Perrow MR, Davy AJ (2002) *Handbook of Ecological Restoration: Restoration in practice*. Cambridge University Press
- Pielou EC (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 131-144.
- Preciozzi F (1988) Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000.
- Primer-e L (2001) *Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research* version five

(PRIMER 5).

Primer-e L (2012) Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research version six  
(PRIMER 6).

Priskin J (2003) Tourist perceptions of degradation caused by coastal nature-based recreation.  
Environ Manage 32:189-204. doi: 10.1007/s00267-002-2916-z

Reis EG, Tagliani CRA, Asmus ML, Calliari LJ (2000) Gestión Integrada de la Zona Costera:  
Intercambios e Interrelaciones entre los Sistemas Costeros y Oceánicos Adyacentes. 02-  
12 de Octubre 2000; La Coronilla- Rocha (Uruguay). FURG, CIRM, DOALOS/ONU. 11<sup>a</sup>  
Ed., carpeta con 5 módulos y 4 sub-módulos. (PROGRAMA TRAIN-SEA-COAST  
BRASIL).

Rios ME (2007) Incidencia de la forestación con especies exóticas sobre el bosque costero en  
la localidad Perla de Rocha, (Rocha) Uruguay. Facultad de Ciencias, Universidad de la  
República

Robayna A (2009) Presión antrópica en la costa uruguaya. Análisis de indicadores sobre  
turismo y transporte.

Robayna A (2004) Informe EcoPlata, junio 2009: Presión antrópica en la costa uruguaya.  
Análisis de indicadores sobre turismo y transporte. En: INE (ed) Informe EcoPlata, junio  
2009: Presión antrópica en la costa uruguaya. Análisis de indicadores sobre turismo y  
transporte. Programa EcoPlata,

Sánchez L, Sánchez R (1992) Estudio mineralógico de las arenas de la playa Bello Horizonte  
Depto. De Canelones.

Seeliger U (1992) Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats, and vegetation.  
Coast. Plant Communities Lat. Am. 367-381.

Shanmugam S, Barnsley M (2002) Quantifying landscape-ecological succession in a coastal  
dune system using sequential aerial photography and GIS. J Coast Conserv 8:61. doi:  
10.1652/1400-0350(2002)008[0061:QLSIAC]2.0.CO;2

SHIN-SHOMA (1989) Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata,  
Comisión A.

Silva P, Pinho P, Correia a I, et al (2004) Estudio de Indicadores de Vulnerabilidad de sistemas

dunares : um contributo para a gestão integrada de zonas costeiras. Actas da 8ª Conferência Nac Ambient 12.

Stephenson G (1999) Vehicle impacts on the biota of sandy beaches and coastal dunes. A review from a New Zealand perspective. *Sci Conserv* 48 pp.

Tabajara L, Gruber N, Dillenburg S, Aquino R (2005) Vulnerabilidade e classificação das dunas da praia de Capão da Canoa, litoral norte do Rio Grande do Sul. *Gravel* 71-84.

Veech JA, Crist TO (2009) PARTITION: software for hierarchical partitioning of species diversity, version 3.0.

Vieira Rocha J (2000) El Sistema de Información Geográfica (SIG) en los contextos de Planificación del Medio Físico y de las Cuencas Hidrográficas. En: Repetto F, Karez C (eds) II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. UNESCO – UNICAMP 2002, Campinas, SP-Brasil,

Walker IJ, Hesp P a., Davidson-Arnott RGD, Ollerhead J (2006) Topographic Steering of Alongshore Airflow over a Vegetated Foredune: Greenwich Dunes, Prince Edward Island, Canada. *J Coast Res* 225:1278-1291. doi: 10.2112/06A-0010.1

WCC'93 (1995) «Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21st Century. Conference Report, World Coast Conference 1993.» En: «Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21st Century. Conference Report, World Coast Conference 1993.»

Wells PG, Daborn GR (1998) El Río de la Plata. Una Revisión Ambiental. Un informe de Antecedentes del Proyecto EcoPlata. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada

Williams a. T, Alveirinho-Dias J, Garcia Novo F, et al (2001) Integrated coastal dune management: Checklists. *Cont Shelf Res* 21:1937-1960. doi: 10.1016/S0278-4343(01)00036-X

Williams AT, Davies P, Dias AJ, et al (1994) A re-evaluation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia* 8:179-182.

Williams LRR, Kaputka LA (2000) Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. in: Villa F. and McLeod H. *Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications*. . *Environ Toxicol Chem* 19:1055–1058.

Woodroffe CD (2007) The Natural Resilience of Coastal Systems: Primary Concepts. En: McFadden L, Nicholls RJ, Penning-Rowsell EC (eds) Managing Coastal Vulnerability. Elsevier, Amsterdam, pp 45-60

# **ANEXO: INTERPRETACIÓN DE LA DINÁMICA DEL SISTEMA COSTERO A NIVEL DE SITIOS**

## **Arco de Playa Edén Rock sitio 1**

El sitio presenta una alta dinámica geomorfológica, siendo visibles signos correspondientes a los cambios en la posición de la desembocadura en cada una de las imágenes aéreas de la serie temporal estudiada (1937-2006). Como atestigua la evolución histórica, el desplazamientos del punto de descarga pueden cambiar la situación en gran parte del sitio. Actualmente presenta un perfil geomorfológico erosivo teniendo en primera línea un cordón de dunas terciarias de más de tres metros de potencia, erosionadas en su base por el curso actual del arroyo Solís Chico (figura 36); y atravesadas por accesos irregulares que provocan la pérdida de cobertura vegetal, el derrumbamiento y la conformación de pasillos de deflación en los puntos afectados.

Las características de la cobertura vegetal sobre la duna frontal sugieren se trata de un ensamble maduro, correspondiéndose con su presencia sobre una duna terciaria. El componente marino exhibe una importante capacidad erosiva a la vez que anula el aporte eólico de sedimentos debido a la cercanía del arroyo al pie de la duna frontal, que actúa como trampa de arena y los arrastra más allá del sitio. En base al índice de capacidad adaptativa, bajo la dinámica actual el sistema presenta una escasa capacidad de reorganizarse. Como resultado la vulnerabilidad resulta alta, siendo la mayor registrada en la zona de estudio.

En el sitio se realizan una gran variedad de actividades (tabla 6). Se destaca la ausencia de accesos regularizados y la presencia de una importante área de estacionamiento longitudinal correspondiente a la banquina de la rambla, promoviendo una distribución bastante homogénea de los accesos irregulares. En la porción este presenta un área de estacionamiento con una capacidad aproximada de 82 plazas vehiculares la cual no cuenta con accesos regularizados (tabla 7).



**Figura 36.** Arco de Playa Edén Rock: sitio 1 presentando en primera línea dunas terciarias erosionadas en su base por el arroyo Solís Chico.

## Arco de Playa Edén Rock sitio 2

Actualmente presenta sobre el límite con el sitio uno al punto de descarga del arroyo. Desde allí hacia el oeste se extiende al pie de la duna frontal lo que resta colmatar del canal correspondiente al punto anterior de descarga; el que actúa como trampa de arena (Figura 37). Por detrás de éste en dirección al continente se continúa el cordón de dunas terciarias del sitio uno, dando paso a la conformación de un campo de dunas móviles que alcanza la rambla impulsado por las tempestades del sector SE al SW (Figuras 38 y 39). Hacia la mitad oeste del sitio la duna frontal está compuesta por protodunas por detrás de las que se presenta un cordón de dunas terciarias erosionado en diverso grado (Figuras 40 y 41).

El ensamble vegetal es dominado por *Spartina coarctata*; responsable en buen grado de la posición distal ocupada por este sitio en el análisis de MDS realizado en base a las especies.

Por lo expresado pude inferirse que se trata de un sitio con alta dinámica geomorfológica que mantiene un fuerte control ambiental sobre el ensamble vegetal. La dominancia de *Spartina coarctata* y la ausencia de *Panicum racemosum* a pesar de encontrarse en todos los restantes sitios, junto con la presencia de la especie pionera *Cakile marítima* sobre un campo de protodunas, sugieren una reciente reestructuración del sistema tras la ocurrencia de un importante disturbio capaz de reiniciar el proceso de sucesión vegetal en una gran porción del sitio. La observación del corrimiento hacia el Este de la desembocadura atestiguado en su evolución histórica, sugiere a éste como disturbio responsable. Las condiciones creadas por dicho corrimiento, a saber una napa de agua cercana a la superficie; resultan favorables para el desarrollo de *S. coarctata*.

El índice de vulnerabilidad a las principales forzantes del sitio es el más bajo de toda la zona de estudio presentando además una buena capacidad adaptativa, lo que resulta en una vulnerabilidad baja siendo la más baja registrada en la zona de estudio.

Este sitio presenta una pequeña área de estacionamiento ya que la transgresión de las dunas por sobre la banquina impide que se utilice la misma con este fin. A su vez presenta pocos accesos irregulares aunque su densidad es casi de uno por cada 100 metros (tabla 6).



**Figura 37.** Arco de playa Edén Rock la flecha roja indica el límite entre el sitio 1 y 2 donde se observa el punto de descarga al 25/03/2012 del arroyo Solís Chico. La flecha naranja señala la anterior posición de la vía de drenaje que actúa como trampa de arena situada al pie de la duna frontal.



**Figura 38.** Arco Edén Rock sitio 2 presenta en su mitad oeste un campo de dunas móviles producto de la erosión y deflación del cordón de dunas terciarias.



**Figura 39.** Arco de playa Edén Rock sitio 2, presentando un campo de dunas móviles que alcanza la rambla.



**Figura 40.** Edén Rock sitio 2 se observa la transición de Este a Oeste entre un frente dunar compuesto por un cordón relicto de dunas terciaras hacia un campo de protodunas en procesos de colonización vegetal.



**Figura 41.** Arco Edén Rock sitio 2 mitad Oeste presentando en primera línea un campo de protodunas y por detrás de las mismas un cordón de dunas terciarias parcialmente erosionadas.

### Arco de Playa Edén Rock sitio 3

Su orientación general se encuentra alineada con el vector principal de la rosa de los vientos fuertes, favoreciendo esto al transporte aéreo de sedimentos en sentido SW-NE. Presenta en primera línea un cordón dunar de buena expresión (Figura 42) recostado sobre otro cordón relicto de dunas secundarias y terciarias (Figura 43). El ensamble vegetal constituido por tres especies del tipo tres presentó la equitatividad más baja registrada siendo el pasto dibujante (*Panicum racemosum*) la especie dominante. Estas características sugieren estar en presencia de un ensamble adaptado al medio costero, típico de duna frontal. La presencia de la especie pionera *Cakile marítima* estaría señalando la existencia de perturbaciones que fuerzan el reinicio del ciclo de sucesión en parte del sistema.

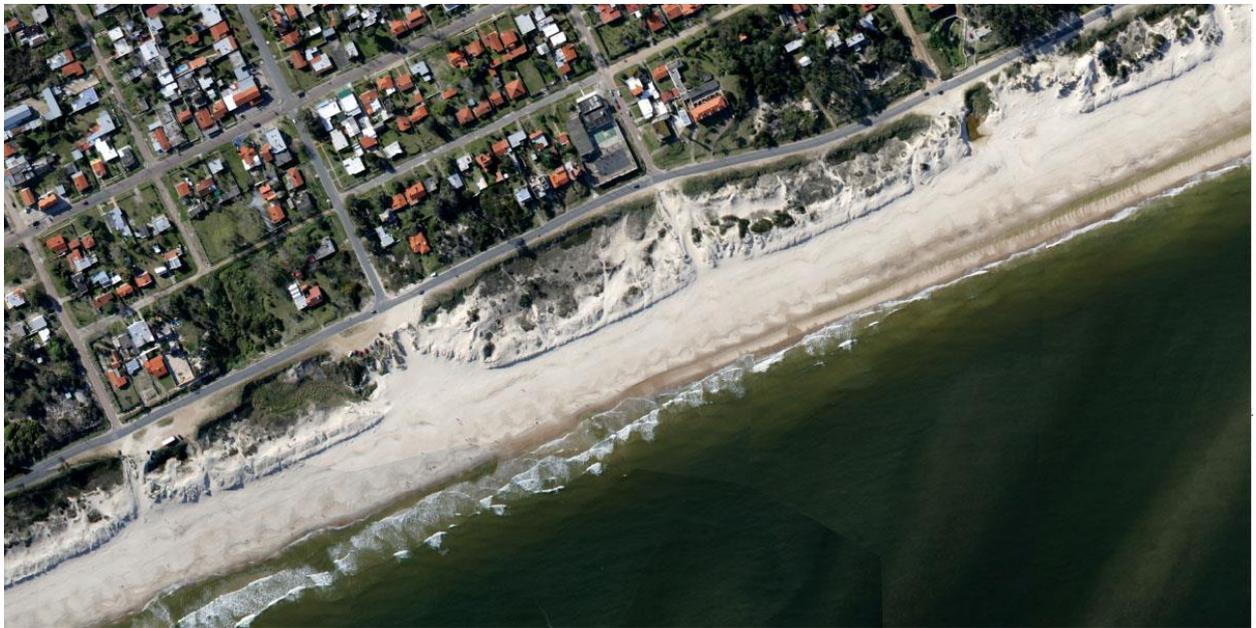
La evolución geomorfológica da cuenta de un continuo proceso de acreción, a la vez de que el sitio presenta una buena capacidad de resiliencia ecológica y adaptativa; resultando la presión antrópica la principal forzante en afectar la vulnerabilidad, producto principalmente del acceso del público usuario; siendo evidentes cortes del cordón dunar coincidentes con las intersecciones de las calles transversales a la rambla (Figura 44). Se observan importantes signos de degradación asociados a las diversas infraestructuras que soporta, principalmente a los estacionamientos que no cuentan con accesos peatonales (Figura 45). Este sitio presenta un gran área de estacionamiento distribuida por toda su extensión (18 plazas / 100m), compuesta de plazas de estacionamiento y secciones lineales asociadas a la banquina de la rambla. La densidad de los accesos regularizados es muy baja (0,2/100m) y se presenta ocasionalmente disociada de las áreas de estacionamiento lo que promueve un alto número (56 aprox.) y densidad de accesos irregulares (1,6/100m).



**Figura 42.** Arco de playa Edén Rock sitio 3 puede apreciarse una duna frontal de buena expresión. Nótese la barranca de erosión producida durante una tormenta al pie de la misma.



**Figura 43.** Arco de playa Edén Rock sitio tres se observa por detrás de la duna frontal un relicto del cordón de dunas terciarias.



**Figura 44.** Arco de playa Edén Rock sitio tres presenta cortes sobre el cordón dunar coincidentes con las intersecciones de las calles transversales a la rambla. Nótese la existencia de estacionamientos carentes de accesos regularizados y las trillas por sobre todo el sistema.



**Figura 45.** Arco de playa Edén Rock sitio tres presenta estacionamientos carentes de accesos regularizados lo que provoca la pérdida de la cobertura vegetal y deflación alrededor del punto de acceso. Obsérvense además el uso de la duna frontal para actividades de recreación.

## Arco de Playa Brava sitio 1

La evolución geomorfológica de este sitio indica cierta estabilidad; caracterizándose por presentar en toda su extensión afloramientos rocosos y un cordón dunar de expresión muy variable fragmentado por accesos irregulares (figura 46 y 47).

Presenta ocho especies de las cuales seis corresponden al tipo tres y las restantes al tipo dos, estando éstas últimas significativamente asociadas. Sugiriendo un leve retroceso de la duna frontal que expone en primera línea un ensamble mixto integrado por las especies originalmente ubicadas en segunda línea y las propias de la duna frontal de sitios sujetos a la dinámica costera.

Las forzantes condición geomorfológica e incidencia marina se destacan por sobre el resto, mientras que el índice de capacidad adaptativa presenta un valor bajo a medio siendo el menor observado en el arco de playa; resultando la vulnerabilidad del sitio media.

Presenta una importante área de estacionamiento la cual es subutilizada debido a las condiciones del terreno. A pesar de ello la densidad de plazas es alta (45plazas/100m), pero presenta importantes carencias a nivel de accesos ya que cuenta con uno solo en malas condiciones; resultando muy baja su densidad (0,3/100m). En contrapartida los accesos irregulares presentan una muy alta densidad (2,5/100m) y se observan vinculados a la importante actividad de pesca deportiva que se desarrolla en el sitio (tabla 6).



**Figura 46.** Vista aérea y a nivel de playa del sitio uno del arco de playa Brava. Nótese la infraestructura de estacionamiento y las trillas de acceso irregular en la primera así como el cordón dunar presente en el lado este de la segunda fotografía.



**Figura 47.** Playa Brava sitio uno presentando un cordón dunar incipiente recostado sobre una barranca fijada por la vegetación con afloramientos rocosos. Nótese la cercanía al borde de la barranca de los vehículos estacionados.

## Arco de Playa Brava sitio 2

Presenta en primera línea una duna frontal fragmentada de perfiles inestables al punto de no llegar a constituir un cordón dunar; recostada sobre una duna terciaria la cual también presenta signos de degradación (Figura 48). Los indicadores de línea de costa sugieren una etapa reciente de retroceso caracterizada por una pérdida de prisma de playa en favor de un aumento del área.

Sobre la duna frontal el ensamble resultó ser muy equitativo, estando conformado por seis especies de las cuales dos son exóticas y del tipo funcional dos: *C. edulis* e *I. cairica*; las cuales representan el 11% y el 1% de la cobertura respectivamente. Las restantes especies son características de la formación estepa psamófila (Fagúndez and Lezama 2005).

Respecto a las principales forzantes del sistema, la condición geomorfológica resultó presentar el valor más alto de la zona de estudio mientras que la condición vegetal el segundo valor más alto registrado. El índice de capacidad adaptativa presenta el tercer valor más alto registrado resultando la vulnerabilidad también con el tercer valor más alto de la zona de estudio ( $V=0,61$ ).

Este sitio presenta una acotada área de estacionamiento asociada directamente con un acceso regularizado; el cual sería suficiente para permitir el acceso a este sitio ( $0,8/100m$ ). A pesar de ello se observan varios accesos irregulares presentando este sitio la densidad más alta ( $3,9/100m$ ).

Cabe señalar que en el límite con el sitio tres se encuentra emplazado un desagüe pluvial que socava la playa tras cada lluvia provocando la pérdida de arena hacia el mar (Figura 49). La presencia en primera línea de especies del tipo dos alcanzando una cobertura del 11,9%, junto con una morfología dunar indefinida e inestable dan cuenta de una situación compleja.

Sugiriendo que estando el sistema aún no reestructurado se mantiene en dicho estado gracias a una capacidad adaptativa moderada y la persistencia de disturbios.



**Figura 48.** Arco de playa Brava sitio dos presentando una duna frontal fragmentada con perfiles inestables recostada sobre un cordón de dunas terciarias. Nótese las trillas como vía de acceso desde el área de parking ubicada detrás del sitio y el zócalo producido por el agua canalizada a través del desagüe pluvial.



**Figura 49.** Imágenes del desagüe pluvial ubicado entre los sitios dos y tres del arco de playa Brava luego de lluvias intensas ocurridas en diciembre del 2008.

### Arco de Playa Brava sitio 3

Este sitio acompaña la evolución geomorfológica del resto del arco de playa, presentando una relativa estabilidad. Al momento de realizarse el relevamiento presentó una duna frontal con una pronunciada escarpa de erosión recostada sobre un cordón de dunas secundario (Figura 50).

Estando el ensamble presente sobre la duna frontal compuesto por cinco especies todas correspondientes al tipo funcional tres, siendo una exótica (*C. dactylon*) presenta una alta equitatividad.

Las principales forzantes del sistema resultaron ser la condición geomorfológica y la vegetal. Por su parte la capacidad adaptativa presenta un valor bueno relativo al resto de los sitios, dando como resultado una vulnerabilidad media. En base a la geomorfología dunar y la ausencia de especies pioneras se presume un retroceso reciente del cordón dunar producto de crecidas extraordinarias que le afectaron en toda su extensión, y que a pesar de contar el sistema dunar con una capacidad adaptativa aceptable al momento no logró restablecer una estructura duneiforme.



**Figura 50.** Arco de playa Brava sitio tres presentando una duna frontal con una pronunciada barranca de erosión. Nótese el perfil inestable de la duna frontal y la corta distancia a la marca de resaca.

## Arco de playa Mansa

La evolución histórica de la línea de costa de este arco de playa es compleja, respondiendo espacialmente a la diversidad de sustratos y conformación en espiral logarítmica; y temporalmente a intervenciones antrópicas. También se caracteriza por presentar gran variabilidad entre sitios respecto al grado de presión antrópica.

### *Arco de playa Mansa sitio 1*

Caracterizado por su estabilidad geomorfológica durante el período de estudio, presenta una duna frontal de escasa expresión sobre la cual se asienta el ensamble más rico de la zona de estudio constituido por once especies. La cobertura alcanza el 75% y está compuesta en un 18,8% por el tipo funcional dos presentando cinco especies (siendo dos exóticas: *A. donax*; *C. edulis*) y el resto por seis especies del tipo tres características de la formación estepa psamófila. La equitatividad del ensamble es muy alta resultando ser la mayor registrada. El análisis de agrupamiento en base a datos de presencia / ausencia denota una fuerte asociación significativa entre las especies *A. donax*, *B. spicata*, *B. monnieri*, *J. acutus* y *K. odorata*.

La vulnerabilidad frente a las principales forzantes se caracteriza por valores medio altos de los sub índices ICG, IIM e IIE y un valor muy bajo del IPA propiciado por su ubicación aislada y acceso restringido. La capacidad adaptativa del sitio es buena dando como resultado una vulnerabilidad media ( $V=0,47$ ).

Presenta una acotada área de estacionamiento distribuida en dos playas de estacionamiento a ambos extremos del sitio, con un acceso regularizado vinculado a cada una. A pesar de ser baja la densidad de accesos regularizados ( $0,5/100m$ ), el restringido acceso que presenta desde la rambla y el uso casi exclusivo como zona de pesca promueven una baja densidad de accesos irregulares ( $0,3/100m$ ). Dadas la estabilidad del sistema generada por los afloramientos rocosos, así como el acceso restringido del sitio, el mismo presenta una baja prioridad respecto a los restantes (figura 51).



**Figura 51.** Arco de playa Mansa sitio uno presenta afloramientos rocosos en toda su extensión.

### *Arco de playa Mansa sitio 2*

Este sitio ha sufrido un proceso de erosión durante el período 1937-1966 tras el cual deviene un proceso de acreción asociado a la implantación de la batería de espigones. Este proceso se caracteriza por lograr un mayor ensanchamiento de la playa y una pérdida de prisma respecto a su geomorfología en el año 1937. La batería de espigones le confiere estabilidad al sitio en su porción sub acuática conteniendo la arena arrastrada por deriva litoral y la del prisma de playa. Por otra parte dada su orientación, frontal a los vientos del cuadrante SW y cubierta a los vientos de los cuadrantes SE, E y NE; el sitio no presenta una superficie expuesta al viento lo suficientemente extensa como para que éste arrastre volúmenes considerables de arena de la playa hacia el continente. La pérdida gradual del prisma ha alcanzado el nivel freático en gran parte de la playa disminuyendo aún más la capacidad de recibir arenas por vía eólica (figura 52).

El ensamble vegetal conformado por cinco especies presentó dos exóticas (*C. edulis* y *C. dactylon*) y el resto compuesto por especies características de la formación estepa psamófila; presentando una equitatividad alta. La cobertura resultó ser apreciablemente menor a la de todos los sitios (32,5%), de la cual el 4,7% correspondió al tipo funcional dos. El índice de vulnerabilidad a las principales forzantes presentó el valor más alto registrado con una estructura significativamente distinta a todos los sitios de acuerdo al análisis de agrupamiento. Presentó el mayor valor del IPA, ICV e IIE. El índice de capacidad adaptativa resultó relativamente alto dando como resultado la vulnerabilidad con el segundo valor más alto registrado.

Actualmente no presenta estructura dunar alguna en primera línea salvo puntuales acumulaciones (figura 53); lo cual puede deberse a los escasos volúmenes acarreados por el viento y la intensa presión de origen antrópico que provoca la pérdida de cobertura vegetal y deflación (Figura 54).

Este sitio presenta un área de estacionamiento lineal asociada a la rambla y el cantero central con una densidad de 75 plazas cada 100metros teniendo en cuenta ambas aceras. Presenta un buen número de accesos regularizados con una buena densidad (1,8/100m) y apenas un acceso irregular siendo la densidad de éstos baja (0,3/100m).



**Figura 52.** Arco de playa Mansa sitio dos presentando un afloramiento permanente de la napa freática en gran parte de su extensión. Nótese la protoduna vegetada detrás de la casilla de guardavidas.



**Figura 53.** Imágenes del arco de playa Mansa sitio dos donde se aprecia la carencia de estructura dunar.



**Figura 54.** Imagen del arco de playa Mansa sitio dos, registrado el 30/11/2011 sometido a diversas e intensas presiones antrópicas.

### *Arco de playa Mansa sitio 3*

La evolución geomorfológica de este sitio al igual que el anterior presenta una fase erosiva que se revierte tras la implantación de la batería de espigones. A diferencia del sitio 2 el retroceso fue mayor, a tal grado que la fase de acreción no ha logrado recuperar el ancho de playa ni su prisma respecto al perfil geomorfológico del año 1937. Actualmente presenta un bajo perfil de playa y en primera línea un cordón dunar fragmentado cuya expresión va en aumento de Este a Oeste; recostado sobre una barranca parcialmente estabilizada por su cubierta vegetal (Figura 55 y 56). Son apreciables signos de retroceso a nivel de barranca en casi toda su extensión provocados por mareas meteorológicas extremas y el impacto producido por el acceso irregular (Figuras 57 y 58).

El ensamble vegetal característico de la formación estepa psamófila está conformado por siete especies de las cuales una es exótica (*C. dactylon*), ubicando al sitio en una posición céntrica en la ordenación de MDS en base a la abundancia de especies. La equitatividad es media alta y la cobertura es del 71,7% del cual el 100% corresponde a especies del tipo funcional tres.

Las principales forzantes del sistema resultan ser la condición geomorfológica y la vegetal. El índice de capacidad adaptativa presenta un valor relativamente alto resultando ser el segundo mayor valor registrado. La vulnerabilidad presenta un valor también relativamente alto presentando el tercer valor más alto registrado.

Este sitio presenta una gran superficie de estacionamiento conformada por ocho áreas cuya densidad es de 36 plazas cada 100 metros; distribuyéndose a lo largo de todo el sitio. Son ocho los accesos regularizados (0,5/100m); mientras que los accesos irregulares son 34 (2,3/100m). Esta situación es promovida por la escasa infraestructura de acceso asociada a las áreas de estacionamiento ya que solo tres la presentan.

La implantación de los espigones ha promovido la estabilidad respecto al ancho de playa, sin embargo es evidente la pérdida del prisma y signos de ataque de las mareas meteorológicas extremas sobre la barranca, al punto que la duna frontal está compuesta en varios sectores por sedimentos aportados en su retroceso. La estructura que presenta el sistema dunar es precaria, si bien presenta una orientación que le permite recibir arena acarreada por los vientos de los cuadrantes W al SSE y un ensamble vegetal capaz de regenerarla. Es evidente el impacto producido por el acceso irregular por sobre casi toda su extensión, promovido por su fácil accesibilidad y la falta de infraestructura de acceso asociada a las áreas de estacionamiento.



**Figura 55.** Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea un cordón dunar de pobre expresión recostado sobre una barranca estabilizada por la cubierta vegetal. Nótese la extensión del área de estacionamiento asociada al sitio y la acotada zona con arena seca al borde de la duna frontal.



**Figura 56.** Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea un cordón dunar fragmentado. Nótese la presencia de accesos irregulares desde la rambla surcando la duna frontal.



**Figura 57.** Arco de playa Mansa sitio tres el 30/11/2011 presentando en primera línea los sedimentos desprendidos por la barranca tras el embate de mareas meteorológicas. Nótese la cercanía del área de parking asociada al sitio.



**Figura 58.** Arco de playa Mansa sitio tres, imagen registrada el 30/11/2011, presenta ejemplos de signos de deflación producto del ingreso irregular.

#### *Arco de playa Mansa sitio 4*

Este sitio se caracteriza por presentar un intenso proceso erosivo desde el inicio del período considerado, siendo posible constatar la presencia de una importante barranca de erosión en las imágenes de 1937. No fue posible dilucidar el efecto de la batería de espigones sobre la evolución de la línea de costa en este punto dada la carencia de imágenes aéreas. Se presume que el balance entre el aporte por deriva y la pérdida por efecto de las corrientes de retorno es negativo, resumiéndose el efecto del último espigón a la contención temporal de los sedimentos liberados desde las barrancas cercanas.

Actualmente carece en primera línea de duna frontal salvo en algunos sectores donde se ubica recostada sobre la línea de barrancas; la cual presenta en la mayor parte de su extensión una cubierta vegetal que le brinda cierta estabilidad (Figuras 59 y 60). La orientación del sitio le permite recibir sedimentos transportados por acción eólica de los cuadrantes W al SSE, aunque la superficie expuesta a los mismos es escasa y se ve reducida por el extenso afloramiento de la napa freática (figura 61). Lo que junto a la baja pendiente de playa y permanente disponibilidad de agua dulce al pie de la barranca promueve una alta cobertura vegetal, la presencia en primera línea de especies del tipo funcional dos y un ensamble que se caracteriza por la dominancia y fidelidad de *P. vaginatum*. Como resultando la capacidad de resiliencia ecológica es baja.

La vulnerabilidad frente a las principales forzantes se destaca por presentar el menor valor del IPA observado. La posición distal que ocupa este sitio y su accesibilidad restringida promueven un bajo impacto antrópico, siendo un área no urbanizada que presenta escasas infraestructuras (Figura 63). El acceso público es casi exclusivamente a nivel de playa, presentando dos accesos irregulares desde la urbanización lindera de Villa Argentina (0,1/100m). Los predios privados presentan trillas de acceso y los propietarios realizan acciones puntuales intentando mitigar la erosión. En función a la tasa de erosión observada y distancia y magnitud de la infraestructura en el sitio, el mismo presenta una baja prioridad respecto al resto.



**Figura 59.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011presentando un insipiente cordón dunar recostado sobre la barranca activa.



**Figura 60.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011presentando una frondosa vegetación al pie de barranca que le brinda cierta estabilidad.



**Figura 61.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando afloramiento de la napa freática. Nótese la carencia de cobertura vegetal sobre su límite con el sitio tres.



**Figura 62.** Arco de playa Mansa sitio cuatro el 30/11/2011 presentando derrumbes recientes. Nótese la posición de la boya dejada por la resaca de tormenta al pie de la barranca. Nótese el retroceso de la barranca en relación al comienzo del espigón.



**Figura 63.** Vista aérea del sitio cuatro del arco de playa Mansa el 20/09/2006. Presenta una baja ocupación y acceso restringido. Se señala en rojo los límites del sitio y en amarillo los accesos irregulares.