

## Río Negro

### **Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas.**



---

## **Río Negro**

### **Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas**

---

---

**Autoridades del Consejo Federal  
de Inversiones**

**Asamblea de Gobernadores**

**Secretario General**  
Ing. Juan José Ciácerá

---

---

## Río Negro

# Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas

---

### Consultores

Dr. Enrique Fucks; Lic. Armando Héctor Scalise; Dr. Enrique J. Schnack, a solicitud de la provincia de Río Negro

### Colaboradores

Dr. Kai Ahrendt, Lic. Fabián García, Dr. Raúl A. C. González, Ing. Roberto Sciarrone, Diseñadora Sofía Schnack

---

Revisión de textos Convenio USAL-CFI

ABRIL DE 2011

---

## **Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas**

Autores: Dr. Enrique Fucks; Lic. Armando Héctor Scalise;  
Dr. Enrique J. Schnack

Colaboradores: Dr. Kai Ahrendt; Lic. Fabián García; Dr.  
Raúl A. C. González; Ing. Roberto Sciarrone; Diseñadora  
Sofía Schnack

1ª Edición  
500 ejemplares

### **Consejo Federal de Inversiones**

Consejo Federal de Inversiones,  
San Martín 871 – (C1004AAQ)  
Buenos Aires – Argentina  
54 11 4317 0700  
[www.cfred.org.ar](http://www.cfred.org.ar)

ISBN XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

• 2011 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES  
Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723  
Impreso en Argentina - Derechos reservados.

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los editores. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

**NOMBRE Y DOMICILIO IMPRESOR**  
**LUGAR Y FECHA IMPRESIÓN**

# Al lector

El Consejo Federal de Inversiones es una institución federal dedicada a promover el desarrollo armónico e integral del país.

Su creación, hace ya cinco décadas, provino de la iniciativa de un grupo de gobernadores provinciales democráticos y visionarios, quienes, mediante un auténtico Pacto Federal, sentaron las bases de una institución que fuera, a la vez, portadora de las tradiciones históricas del federalismo y hacedora de proyectos e iniciativas capaces de asumir los desafíos para el futuro.

El camino recorrido, en el marco de los profundos cambios sociales de fin y principio de siglo, motivó al Consejo a reinterpretar las claves del desarrollo regional, buscando instrumentos innovadores e identificando ejes temáticos estratégicos para el logro de sus objetivos.

Así surgen en su momento el crédito a la micro, pequeña y mediana empresa, la planificación estratégica participativa, la difusión de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones, las acciones de vinculación comercial y los proyectos de infraestructura para al mejoramiento de la competitividad de las producciones regionales en el comercio internacional. Todo ello, con una apuesta creciente a las capacidades sociales asociadas a la cooperación y al fortalecimiento de la identidad local.

Entre los instrumentos utilizados por el Consejo, el libro fue siempre un protagonista privilegiado, el vehículo entre el conocimiento y la sociedad; entre el saber y la aplicación práctica. No creemos en el libro como "isla", principio y fin del conocimiento, lo entendemos –a la palabra escrita y también a su extensión digital– como una llave para generar redes de conocimiento, comunidades de aprendizaje.

Esta noción del libro como medio, y no como un fin, parte de una convicción: estamos inmersos en un nuevo paradigma donde solo tiene lugar la construcción del co-

nocimiento colectivo y de las redes. En esta concepción, los libros son insumos y a la vez productos de la tarea cotidiana.

En un proceso virtuoso, en estos últimos años, el CFI se abocó a esa construcción social del conocimiento, mediante el trabajo conjunto y coordinado con los funcionarios y técnicos provinciales, con profesionales, productores, empresarios, dirigentes locales, estudiantes, todos aquellos interesados en encontrar soluciones a los problemas y en asumir desafíos en el ámbito territorial de las regiones argentinas.

Con estas ideas hoy estamos presentes con un conjunto de publicaciones que conforman la **Colección "Estudios y proyectos provinciales"** y que están referidas a las acciones de la cooperación técnica brindada por nuestra institución a cada uno de sus estados miembro.

Este título: **"Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas"**, que hoy, como Secretario General del Consejo Federal de Inversiones, tengo la satisfacción de presentar, responde a esta línea y fue realizado por solicitud de la provincia de Río Negro.

Damos así un paso más en esta tarea permanente de promoción del desarrollo de las regiones argentinas, desarrollo destinado a brindar mayores oportunidades y bienestar a su gente. Porque, para nosotros, "CFI, DESARROLLO PARA TODOS" no es una "frase hecha", un eslogan, es la manifestación de la vocación federal de nuestro país y el compromiso con el futuro de grandeza y equidad social que anhelamos todos los argentinos.

Ing. Juan José Ciáccera  
Secretario General  
Consejo Federal de Inversiones



# Agradecimientos

Los acantilados de la franja costera del Balneario Las Grutas se encuentran en situación de marcada inestabilidad.

Cada vez con mayor frecuencia se producen desprendimientos de grandes bloques de la pared del acantilado en sectores de playa habilitados como balnearios públicos, en temporada turística, aumentando el riesgo de daño físico a las personas en dicho espacio. Ocasionalmente los desmoronamientos también arrastran en su caída piezas de equipamiento urbano del espacio público (muro costanero y vereda).

Esta situación motivó la realización del presente estudio por pedido de la Municipalidad de San Antonio Oeste, con el objeto de entender las razones del proceso erosivo, proponer medidas para reducir los daños y eliminar los riesgos actuales de accidentes fatales y de daños a la propiedad.

El grupo consultor desarrolló un plan de trabajo orientado a conocer el comportamiento morfodinámico de la costa y la mecánica del proceso de erosión en el balneario. Para ello, se realizaron diversas caracterizaciones del área, incluyendo las variables climático-oceanográficas, el sustrato geológico, la situación del sitio en el marco de su estatus de área protegida, y también factores socioeconómicos.

La información obtenida a lo largo del estudio permitió comprender mejor los procesos de erosión en Las Grutas los cuales están dominados principalmente por factores naturales (geológicos, topográficos y marinos), con menor influencia de factores de origen antrópico.

En el tratamiento del problema y de sus soluciones se tuvo en consideración la experiencia internacional en la materia y las tendencias más modernas en manejo de zonas costeras. En este sentido, las recomendaciones se orientan a una mínima intervención en el sistema costero, con el fin de preservar las características que hacen a la singularidad del área de estudio y a su calidad recreativa y paisajística.



# Índice

<b>11</b>	<b>Introducción</b>	33	3.1 Descripción general
<b>13</b>	<b>1. Característica ambiental de la Bahía de San Antonio y área de influencia</b>	33	3.2 Características litológicas de los acantilados
13	1.1 Aspectos generales	33	3.2.1 Formación Gran Bajo del Gualicho
14	1.2 Características oceanográficas	34	3.2.1.1 Horizonte A
15	1.2.1 Características de la marea astronómica	34	3.2.1.2 Horizonte B
15	1.2.2 Ondas de tormenta	34	3.2.1.2.1 Horizonte B1
17	1.2.3 Nivel medio y aumento del nivel del mar	35	3.2.1.2.2 Horizonte B2
18	1.2.4 Olas	35	3.2.1.3 Horizonte C
18	1.2.5 Corrientes	36	3.2.1.4 Bioturbación y trazas fósiles
18	1.3 Clima y meteorología	36	3.2.1.5 Rodados patagónicos
19	1.3.1.1 Temperatura	37	3.2.1.6 Depósitos Litorales
29	1.3.1.2 Pluviometría	37	3.2.1.7 Depósitos Eólicos
20	1.3.1.3 Vientos	37	3.3 Geomorfología en la zona de influencia de la localidad de Las Grutas
21	1.3.1.4 Clima de la región	37	3.3.1 Características de los acantilados y playas
21	1.4 El subsistema natural	38	
21	1.4.1 La biota costera	<b>41</b>	<b>4. Procesos geológicos en las Grutas</b>
21	1.4.1.1 Vegetación	41	4.1.1 Caídas de detritos
21	1.4.1.2 Fauna	42	4.1.2 Deslizamientos de traslación
22	1.4.1.3 La vegetación acuática	42	4.1.3 Meteorización
22	1.5 El subsistema antrópico	43	4.1.4 Casos de meteorización en Las Grutas
22	1.5.1 Actividades Productivas	44	4.1.5 Biometeorización
22	1.5.1.1 Actividades y usos del suelo costero	44	4.1.6 Acción hidráulica
22	1.5.1.2 Turismo y recreación costera y marina	45	4.1.7 Acción marina
23	1.5.1.3 Otras actividades productivas de relevancia	46	4.1.8 Mecanismos de formación de las cavernas
24	1.6 Zonas y Áreas protegidas	46	4.1.9 Topografía y relación con olas y mareas
24	1.6.1 Hábitats de valor para la conservación	48	4.1.10 Estabilidad de la playa
24	1.6.2 Corredores de especies migratorias costeros y marinos	48	Propuestas de manejo del frente costero
<b>27</b>	<b>2. Estudio bacteriológico expeditivo del frente de barrancas de Las Grutas</b>	49	4.2 Acciones sobre los acantilados
27	2.1 Objetivo	49	4.2.1 Estabilización del acantilado
27	2.2 Antecedentes	49	4.2.1.1 Estabilización de pendientes de la parte superior
28	2.3 Metodología	50	4.2.1.1.1 Criterios de decisión para el suavizado de pendiente
28	2.4 Resultados e interpretación	50	4.2.1.1.2 Estabilización del frente del acantilado
<b>33</b>	<b>3. Geología Regional</b>	51	4.2.1.1.3 Protección del pie del acantilado
		51	4.2.1.1.4 Acciones sobre las grutas y cavernas
		51	4.2.1.1.5 Monitoreo
		51	4.2.1.1.5.1 Objetivo

51	4.2.1.5.2 Datos a relevar
52	4.2.1.5.3 Informes y archivo de la información
52	4.3 Manejo del agua de escurrimiento
52	4.3.1 Subterráneo
52	4.3.2 Superficial
53	4.4 Acciones de manejo urbano
53	4.4.1 Modificación del paseo costanero
53	4.4.2 Regulación edilicia
53	4.5 .Acciones sobre el cordón medanoso
54	4.5.1 Propuestas de manejo del sistema medanoso
55	4.6 Propuesta comunicacional
55	4.6.1 Mensajes precautorios
56	4.6.2 Propuesta de Intervención
56	4.6.3 Sistema de señalización
57	4.6.3.1 Pautas de comunicación visual
57	4.6.3.1.1 Universo tipográfico
57	4.6.3.1.2 Universo cromático
57	4.6.3.1.3 Diseño de información
57	4.6.3.1.4 -Materiales
58	4.6.3.1.5 -Instancias de comunicación
58	4.6.3.1.6 Orden jerárquico

**60 5. Conclusiones**

**63 6. Gráficos. Fotos**

**75 7. Bibliografía**





## Introducción

Los acantilados de la franja costera del Balneario Las Grutas se encuentran en situación de marcada inestabilidad.

Cada vez con mayor frecuencia se producen desprendimientos de grandes bloques de la pared del acantilado en sectores de playa habilitados como balnearios públicos, en temporada turística, aumentando el riesgo de daño físico a las personas en dicho espacio. Ocasionalmente los desmoronamientos también arrastran en su caída piezas de equipamiento urbano del espacio público (muro costanero y vereda).

Esta situación motivó la realización del presente estudio por pedido de la Municipalidad de San Antonio Oeste, con el objeto de entender las razones del proceso erosivo, proponer medidas para reducir los daños y eliminar los riesgos actuales de accidentes fatales y de daños a la propiedad.

El grupo consultor desarrolló un plan de trabajo orientado a conocer el comportamiento morfodinámico de la costa y la mecánica del proceso de erosión en el balneario. Para ello, se realizaron diversas caracterizaciones del área, incluyendo las variables climático-oceanográficas, el sustrato geológico, la situación del sitio en el marco de su estatus de área protegida, y también factores socio-económicos.

La información obtenida a lo largo del estudio permitió comprender mejor los procesos de erosión en Las Grutas los cuales están dominados principalmente por factores naturales (geológicos, topográficos y marinos), con menor influencia de factores de origen antrópico.

En el tratamiento del problema y de sus soluciones se tuvo en consideración la experiencia internacional en la materia y las tendencias más modernas en manejo de zonas costeras. En este sentido, las recomendaciones se orientan a una mínima intervención en el sistema costero, con el fin de preservar las características que hacen a la singularidad del área de estudio y a su calidad recreativa y paisajística.



# 1. Caracterización ambiental de la Bahía de San Antonio y área de influencia

En este apartado del informe final se presenta una caracterización ambiental del frente costero del Balneario Las Grutas y costas aledañas. Las características ambientales y en especial el régimen hidrológico de este sector se encuentran fuertemente influenciados a partir de diferentes procesos por el propio ecosistema de la bahía, por lo cual esta caracterización ambiental se extenderá también a la totalidad de la Bahía y su área de influencia.

## 1.1 Aspectos generales

La Bahía de San Antonio es un sistema estuarial ubicado al noroeste del Golfo San Matías entre 40°42'/40°50' S y 64°43'/65°07' W se (Fig. 1). Presenta una superficie total aproximada de 12.772 ha y se comunica con las aguas del Golfo San Matías mediante una boca de aproximadamente 5 km de ancho. La Bahía presenta un régimen de circulación con un patrón particular, caracterizado por una baja tasa de renovación del agua. Esta característica es también propia del sector norte del Golfo San Matías, en tanto la misma contribuye al incremento de la temperatura de las masas de agua en el sector norte. Por otra parte, la escasez de lluvias, la ausencia de aportes de agua dulce naturales y la elevada tasa de evaporación en la zona norte del Golfo, determinan mayores salinidades, que contrastan con las aguas más frías y menos salinas del sector sur del Golfo.

Las masas de agua que a diario ingresan y se retiran de la bahía presentan un alto nivel de mezcla. Las variaciones en algunos parámetros físicoquímicos del agua son extremas. Por ejemplo, la temperatura en el sector del canal principal, próximo a la boca de la bahía oscila desde los 4 °C en invierno, hasta los 24 °C en pleno verano y en horas de bajar. Los valores de éste y otros parámetros (ej.: salinidad, oxígeno disuelto) en los canales y pozas de marea en los sectores internos de la bahía son aún más extremos.

La Bahía de San Antonio presenta diferentes unidades fisiográficas características y bien diferenciadas. Se observan planicies arenosas o limo- fangosas cubiertas en algunos lugares por vegetación halófila (*Spartina*, *Salicornia*) o por parches de colonias densas de mejillín (*Brachydontes rodriguezii*). Se destacan además grandes planicies de marea surcadas por canales y arroyos de marea, y médanos bajos (fijos o vivos) sobre las costas.

Las formas fisonómicas típicas y dominantes son las planicies de marea cubiertas en algunos casos por vegetación halófila y en otros por mejillinares, y los bancos de arena. Ejemplos de los primeros se encuentran bien representados en el sector medio-litoral, sobre las riberas del tramo del canal principal ubicado entre Punta Delgado y Punta Verde, en tanto las formas típicas de bancos de arena dominan las grandes extensiones del Banco Reparó y algunos sitios entre Banco de las Garzas y Banco Víbora.

Hacia el sector externo de la bahía, la acumulación del Banco Reparó se proyecta sobre las costas que se extienden en sentido oeste suroeste, pasando por el sector mismo del frente de barrancas de Las Grutas y llegando hasta el sector del Paraje el Sótano. En todo este tramo costero de más de 27 km de extensión se destaca, sobre la línea de pleamar, la presencia de formaciones dunares continuas, ya sea en conexión directa con la línea de playa o establecidas sobre barrancas de diferente altura.

En el mismo tramo costero, pero en el sector intermareal, las bajamares dejan al descubierto extensas plataformas de abrasión de superficie casi horizontal, que pertenecen a la Formación Patagónica, unidad de edad miocena compuesta por sedimentos limo-arenosos hasta limo-arcillosos de color general amarillo verdoso y con niveles fosilíferos. En algunos sectores, como en la zona de Las Grutas (desde La Rinconada hacia el sur), ésta formación conforma acantilados.

A lo largo de la zona costera, y a modo de faja, se reconocen acumulaciones eólicas fijas o móviles. En general se trata de médanos transversales de baja altura (1,5 a 3 metros), que en algunos sectores adquieren alturas de hasta 10 metros, con incremento en la proporción de formas móviles.

El movimiento del agua en la bahía está determinado principalmente por corrientes de marea reversibles de ciclo semidiurno normal. Durante los períodos de reflujo (corriente saliente), aproximadamente el 85 % de la superficie interna de la bahía permanece al descubierto quedando agua sólo en estrechos canales de poca profundidad y pozas de marea. Como una excepción, en la boca de la Bahía, aún en las bajamares, permanece el agua en el canal principal registrándose profundidades superiores a los 20 metros.

También quedan expuestos, durante las bajamares, importantes franjas costeras, que en algunos sitios (ej.: Banco Reparó) llegan a tener más de 5.000 metros de extensión. Estos sectores intermareales representan uno de los más importantes ecosistemas de la región, tanto por sus riquezas naturales, como por la influencia que ejercen sobre la vida y el ambiente de toda la zona.

La elevada temperatura de las aguas se debe principalmente al calor transmitido por advección desde el fondo (expuesto al sol durante las bajamares) a la masa de agua que cubre el intermareal durante las pleamares. Es importante destacar que en esta zona la amplitud de mareas es de 7 metros en promedio anual, alcanzando valores mayores en los períodos de mareas extraordinarias.

La tasa de renovación del agua es particularmente baja, produciéndose una recirculación de la misma (una alta proporción del agua que sale en los reflujos, vuelve a ingresar con la inversión de la dirección de la corriente de marea). En la parte externa de la Bahía todo parece indicar que la onda de marea sigue la forma de la costa, y que la acción de freno de los bancos Reparó y Lobos y la Punta Villarino la obligan a girar en el sentido horario. Este patrón de circulación casi cerrado determina que todo el sistema se comporte como área de retención de organismos planctónicos y, por lo tanto, de alta productividad primaria y secundaria. Esta circulación a la vez contribuye en el proceso de calentamiento del agua

(que alcanza durante el verano temperaturas superiores a los 28°C).

Diversos factores, tales como la gran disponibilidad de alimento y de refugios contra predadores, sumados a la dinámica característica de las masas de agua, hacen que la zona se encuadre dentro de los llamados "ambientes costeros protegidos". Estos ecosistemas son muy importantes para la vida marina porque, además de caracterizarse por su alta biodiversidad, constituyen importantes zonas de alimentación para gran cantidad de especies y son escogidos por muchas de ellas como áreas de reproducción y cría de larvas y juveniles.

## 1.2 Características oceangráficas

El Golfo San Matías presenta en su interior profundidades superiores a las de la plataforma continental adyacente alcanzando casi los 200 m. La geometría de la boca restringe el intercambio con el mar abierto y sus aguas resultan más eficientemente influidas por el forzado atmosférico. Mientras que el flujo de calor cambia de sentido a lo largo del año, produciendo incremento o descenso de la temperatura en diferentes épocas, el flujo de agua dulce es siempre hacia la atmósfera dado que la evaporación supera a la precipitación. Estas características del flujo atmosférico y la limitada renovación de sus aguas producen una mayor amplitud térmica anual en los golfos que en el mar abierto y máximos relativos de salinidad en el interior. En verano la circulación en la parte norte del Golfo San Matías está ligada a un giro ciclónico. Observaciones directas de corrientes de 70 días de duración efectuadas en el nordeste del Golfo San Matías a 25 metros de profundidad indican velocidades medias de 0.14 m/s con rumbo 12°. El modelo Cox/CIMA aplicado en los Golfos norpatagónicos, forzado con el viento de estaciones meteorológicas costeras y los flujos de calor y sal también muestra que la circulación en el Golfo San Matías está determinada por dos giros, uno ciclónico al norte y otro anticiclónico al sur. Estos giros inducen el ingreso de agua más fría y menos salina por el sur y el egreso de agua más cálida y salina por el norte.

### 1.2.1 Características de la marea astronómica

El régimen de la marea astronómica en el Golfo San Matías es semidiurno. Se observan generalmente dos pleamares y dos bajamares diarias, no existiendo diferencias significativas entre alturas de pleamares consecutivas y bajamares consecutivas.

La onda de marea, que se genera en las grandes cuencas oceánicas y que avanza desde el sur, penetra en el Golfo San Matías, registrándose las mayores amplitudes en el sector noroeste del mismo. Por otra parte la marea se propaga con rapidez en su interior y no se aprecia una diferencia significativa de fase

La marea astronómica produce cambios diarios sobre el nivel del mar que van entre los 6 y 9 metros de amplitud. Esta diferencia de nivel determina que la totalidad de la superficie de la Bahía de San Antonio y las costas adyacentes se inundan y se vacían dos veces al día. Durante las horas de bajamar la radiación solar calienta significativamente las llanuras intermareales produciendo un aumento en la temperatura del agua en las "piletas" de marea y canales que permanecen con agua. El calor acumulado es posteriormente transferido a la masa de agua que inunda las costas durante la pleamar provocando el aumento de la temperatura media del agua costera. Las altas temperaturas ambientales en los meses estivales generan una mayor evaporación del agua que ingresa a la Bahía de San Antonio, lo que se traduce en el aumento de la salinidad de las aguas costeras. Se produce así una marcada diferencia entre la salinidad y la temperatura del agua costera con los valores correspondientes al agua del Golfo San Matías, la cual es notablemente más fría y menos salina. Gracias a esta combinación de factores, en este sector del Golfo San Matías se encuentran las aguas más cálidas de todo el litoral marítimo patagónico.

Otros parámetros que caracterizan a la marea astronómica son la pleamar astronómica más alta (*Highest Astrono-*

*mical Tide, HAT*), la bajamar astronómica más baja (*Lowest Astronomical Tide, LAT*) y la amplitud extrema.

El LAT es utilizado como plano de reducción de sondajes para la carta náutica, mientras que el HAT es el Datum para espacios verticales según la Organización Hidrográfica Internacional. Además el HAT es aceptado en el planeamiento costero como el lugar más bajo para la línea de costa o ribera. La Tabla 1 brinda estos valores para el Puerto de San Antonio Este, que son también válidos para Las Grutas.

### 1.2.2 Ondas de tormenta

Las ondas de tormenta son las modificaciones del nivel del agua producidas por cambios bruscos de presión atmosférica y fundamentalmente por efecto de arrastre del viento. Estas ondas modifican la marea astronómica dando origen a inundaciones o bajantes. Su duración puede variar desde algunas horas hasta dos o tres días, ocurriendo las más importantes en regiones relativamente poco profundas, cuando el viento sopla durante varios días y sobre superficies extensas. Una forma de calcular la onda de tormenta es efectuando la diferencia entre la altura horaria de marea observada y su correspondiente predicha (marea astronómica). Los valores positivos, serán aquellos que originen ondas de tormenta causantes de inundaciones y erosión costera, mientras que los negativos originarán ondas de tormenta causantes de bajantes.

Difícilmente dos ondas de tormenta sean exactamente iguales ya que pequeñas variaciones en los patrones climáticos pueden producir respuestas bastante diferentes en una masa de agua, en especial en sitios donde haya una tendencia a oscilaciones o resonancias propias del lugar. La coincidencia de alturas máximas de marea astronómica con perturbaciones excepcionales debidas a ondas de tormenta, da origen a valores extremos de marea, es decir a niveles muy altos o muy bajos respecto de los que

**Tabla 1. Todos los valores están referidos al cero que pasa a 4,75m por debajo del nivel medio.**

Localidad	HAT (m)	LAT (m)	Amplitud máxima (m)
San Antonio Este	9,74	0,00	9,57

**Tabla 2. Tendencias relativas del nivel medio del mar en mm/año. Entre paréntesis se presenta al período de observaciones de niveles del mar.**

Localidad y coordenadas geográficas				
Autor	Buenos Aires	Mar del Plata	Puerto Quequén	Puerto Madryn
	34° 34'S	38° 02'S	38° 35'S	42° 46'S
	58° 23'W	57° 31'W	58° 42'W	65° 02'W
Lanfredi et al. (1988)	---	---	1,6 ± 0,2 (1918 – 1981)	---
Lanfredi et al. (1998)	1,6 ± 0,1 (1905 – 1992)	1,4 ± 0,5 (1954 – 1992)	---	3,5 ± 0,1 (1945 – 1983)
D'Onofrio et al., (2008)	1,68 ± 0,05 (1905 – 2003)	---	---	---

se registran ordinariamente. Para la zona en estudio no se dispone de suficientes observaciones de mareas como para estudiar las ondas de tormenta, pero de acuerdo con la información disponible es posible esperar que las ondas de tormentas positivas y negativas puedan alcanzar una altura de 1m. Un caso interesante ocurrió durante la ejecución de este estudio. Si bien no disponemos de datos mareográficos cercanos, el mareógrafo de Mar del Plata registró una onda de tormenta significativa entre el sábado 18 de julio hasta el sábado 1 de agosto de 2009. Si bien la serie es algo más larga, los días críticos fueron los mencionados. La zona ciclónica total cubrió toda la costa argentina afectando localidades costeras como Playa Unión (Chubut), Las Grutas y otras playas rionegrinas, llegando sus efectos hasta más allá de Mar del Plata, al norte. Sus efectos en Las Grutas pueden observarse en la Fig. 27.

### 1.2.2.1 Nivel medio y aumento del nivel del mar

El nivel medio del mar se define como la media aritmética de alturas registradas en un mareógrafo en forma horaria (o en un intervalo menor) obtenidas durante un período variable, pero siempre conteniendo ciclos completos de marea (por ejemplo, un mes, un año o dieci-

nueve años). Antiguamente el nivel medio del mar era considerado a los efectos prácticos, solo variable espacialmente, resultando ser una constante en los cálculos de diseño de obras civiles costeras. En la actualidad es una variable espacial y temporal que cobra mayor importancia en relación directa con la vida útil del proyecto. A partir de la década del 80, se han realizado cálculos para evaluar la tendencia relativa del nivel medio referida a puntos fijos ubicados en las costas argentinas, obteniéndose resultados que concuerdan con los calculados a nivel global, aproximadamente +2 mm/año, para el siglo XX. Los resultados obtenidos por distintos autores se presentan en la Tabla 2.

Como se observa en la tabla 2, la tendencia obtenida para Puerto Madryn, ubicado dentro del Golfo Nuevo, es la mayor de todas las calculadas, mientras que la correspondiente a Mar del Plata es la menor. Luego cabe esperar que la zona de estudio tenga una tendencia de ascenso del nivel medio con valores similares a los de la Tabla 2

El aumento del nivel medio contribuye a que las alturas extremas de marea alcanzadas durante las grandes tormentas sean cada vez mayores, incrementando las probabilidades de erosión en áreas costeras vulnerables.

### 1.2.3 Olas

Dado que no se dispone de mediciones directas de olas, se utilizó el modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) *Cycle III* versión 40.31 para simular la altura, el período y la dirección de las olas en el área seleccionada y obtener una representación preliminar de los parámetros principales del oleaje. SWAN es un modelo numérico de tercera generación utilizado para obtener estimaciones confiables de los parámetros de olas especialmente en aguas someras costeras a partir del viento y la batimetría. Este modelo se basa en la ecuación de balance de la acción de las olas (*wave action*) y considera fuentes y sumideros.

Para el presente trabajo se implementó SWAN en una grilla regional de baja resolución  $0.1799856^\circ \times 0.23946^\circ$  (20 km x 20.0 km) con 15 x 28 nodos, extendida desde  $-65.5^\circ\text{W}$  hasta  $-59^\circ\text{W}$  en longitud y desde  $-42.5^\circ\text{S}$  hasta  $-40^\circ\text{S}$  en latitud, cubriendo completamente al Golfo San Matías y la plataforma continental adyacente hasta la isobata de 200 m. La resolución temporal adoptada fue de 1 hora y se simuló los parámetros entre el 1º de enero y el 31 de diciembre de 2000.

Debido a la carencia de observaciones directas de viento en la región de estudio y considerando que los datos de viento provistos por satélite tienen una baja resolución temporal para este trabajo se utilizaron las componentes NS y EW (a 10 m de altura) correspondientes a los reanálisis de NCEP/NCAR de las 0, 6, 12 y 18 UTC.

Estos reanálisis no son observaciones directas sino el resultado de un análisis objetivo combinando radiosondeos, observaciones de sensores remotos y modelos numéricos. El resultado de este análisis es un conjunto de datos de grilla con resolución espacial  $1.875^\circ$  en longitud y  $1.905^\circ$  en latitud y una resolución temporal de 6 hs. Las principales ventajas de este reanálisis son su consistencia física y su relativamente alta cobertura temporal (más de cincuenta años).

Con los parámetros de olas simulados, 8778 valores horarios de alturas significativas ( $H_s$ ), direcciones de incidencia y períodos del pico espectral ( $T_p$ ) correspondientes al punto "boya Las Grutas" se confeccionaron las distribuciones bidimensionales  $H_s$ - $T_p$  para cada una de las

ocho direcciones principales (N, NE, E, etc.). Se define a la altura de ola significativa como el promedio del tercio más alto de las alturas individuales del registro de olas, al período de pico espectral como el período asociado a la frecuencia del máximo del espectro de energía correspondiente a los niveles instantáneos del nivel del mar y, para la dirección de incidencia, se adopta la convención meteorológica, que es la dirección desde donde se propagan las olas.

En la Figura 2, los contornos indicados con líneas punteadas corresponden a frecuencias de ocurrencia cero y, por lo tanto, dichos contornos encierran pares de valores posibles para alturas y períodos de ola. De dicha figura se aprecia que las direcciones de menor ocurrencia de oleaje son las NE y E (menos de 500 eventos horarios por año para cada una) siguiéndole las direcciones N, NW, SE y S con aproximadamente 1000 eventos cada una. Las direcciones de mayor frecuencia de oleaje son la SW y W sumando entre ambas aproximadamente 4000 eventos horarios anuales.

Los valores medios anuales para la altura significativa, el período de pico y la dirección de incidencia de las olas, considerando todas las direcciones resultaron 0.50 m, 3.3 s y  $212^\circ$ , respectivamente. De este estudio numérico surge que el oleaje más intenso proviene, por lo general, de la dirección SE, alcanzando períodos de hasta 7 s y alturas significativas de casi 2 m.

Se desea resaltar aquí que los resultados presentados y discutidos para caracterizar el oleaje de la región surgen de simulaciones numéricas realizadas para el año 2000. Para obtener una representación cuantitativa más completa de los parámetros de las olas se recomienda realizar simulaciones que cubran, al menos, 20 años de duración. Asimismo, para el presente estudio se adoptó una grilla batimétrica de baja resolución lo suficientemente extendida hacia el Este lo cual permite que el mar de fondo (swell) pueda ser razonablemente simulado.

**Tabla 3. Características generales de la estación de corriente realizada en Las Grutas.**

<b>Mediciones de corriente en boya "Las Grutas" GEF</b>	
<b>Patagonia</b>	
Inicio	03 de julio de 2005
Fin	27 de diciembre de 2005
Latitud	41° 00'
Longitud	65° 05'
Profundidad	19 m
Corriente media	0.21 m/s; 150° / 340°
Corriente máxima	0.54 m/s; 181°

### 1.2.4 Corrientes

Para la escala temporal correspondiente a la marea (banda semidiurna, aproximadamente 12 horas), las observaciones directas no son suficientes para establecer objetivamente la circulación de las aguas en la región noroeste del Golfo San Matías (y en un grado mucho menor para realizar caracterizaciones de corrientes en sitios costeros). En los años '70 se realizaron los primeros esfuerzos para lograr un mejor entendimiento de la circulación en la escala de la marea; se analizaron series de corrientes cortas (aproximadamente 10 días) y se determinó una fuerte señal semidiurna, siendo el efecto del viento muy significativo. Posteriormente, con algunas observaciones directas de niveles del mar, se elaboraron cartas de cotidales y de isoamplitudes tentativas con las cuales obtuvieron algunos valores indicativos de la corriente de marea en el Golfo San Matías. Más recientemente, se obtuvieron resultados de una serie de 15 días de datos de corrientes medidos en la zona de acceso al Puerto de San Antonio Este.

Finalmente, entre los años 2006 y 2007 se desarrollaron tanto mediciones de corrientes como así también simulaciones numéricas en el Golfo San Matías y San José las cuales explicaron en gran medida la circulación general de las aguas asociadas principalmente a la marea y al viento.

Como parte de las actividades realizadas en el marco del Proyecto Marino Patagónico (PNUD ARG/02/018

GEF BIRF Nro. 28385-AR: Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Biodiversidad Biológica Marina), en el año 2005 se instaló una boya oceanográfica marca OCEANOR frente a Las Grutas, la cual estuvo fondeada desde el 3 de julio hasta el 27 de diciembre de ese año, en la posición geográfica de latitud 41° 00' S y longitud 65° 05' W, en un sitio con profundidad 19 metros (Tabla 3). Sus sensores midieron parámetros físicos y químicos durante 178 días constituyendo la serie de parámetros ambientales de mayor duración en la región. La máxima intensidad de la corriente se registró el 03/12/05 alcanzando 0.54 m/s con rumbo 181°. La velocidad promedio correspondiente a dicho período fue de 0.21 m/s, evidenciando una marcada reversibilidad en las direcciones 150° y 340°, lo cual queda claramente manifiesto en la Figura 3, donde se presenta la elipse de corrientes correspondiente a la componente semidiurna lunar principal (M2) para Las Grutas.

La boya ambiental fondeada frente a Las Grutas contaba con sensores de conductividad (salinidad) y temperatura del agua, montados a 1 m de profundidad, la cual puede ser considerada como representativa de la superficie del mar. La salinidad media que surgió de la serie de observaciones fue de 34.033 ups (ups: unidades prácticas de salinidad) alcanzando un máximo de 34.256 ups, mientras que la temperatura media del agua fue de 12.34 °C alcanzando un valor máximo de 16.86 °C.

### 1.3 Clima y meteorología

El clima constituye un factor de primordial importancia cuando se analiza la situación ambiental de una región. El conjunto de variables climáticas permitirá caracterizar y comprender de una mejor manera las condiciones naturales y su relación con los procesos geomorfológicos, la flora y la fauna de la región. En general el clima del norte patagónico, sector donde se encuentra ubicado el municipio de San Antonio Oeste, es relativamente uniforme, dadas sus condiciones fisiográficas y morfológicas.

Para la información climática se utilizaron las estadísticas climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes al aeródromo de San Antonio Oeste (provincia de Río Negro, Observatorio Central) ubicado en la latitud de 40° 45'20" S y la longitud 65° 01'47" O, a

una altitud de 20 m snm. Los datos obtenidos de esta estación representan los únicos del área. El período analizado (1992 – 2008) es el que presenta el registro más completo, ya que si bien existen datos desde 1968, solo a partir de 1992 la información continúa.

### 1.3.1.1 Temperatura

La temperatura media anual del período 1992-2008 es de 14.96 °C, con valores mínimos medios para el mes de

julio con 7,23 °C y máximos medios para el mes de enero con 22,95 °C. (Ver Tabla 4).

### 1.3.1.2 Pluviometría

Los resultados obtenidos con relación a las precipitaciones para el período 1992 – 2008 indican que los valores medios anuales son de 287,3 mm. La tabla 3 muestra las estadísticas de lluvia mensuales, calculadas durante ese período.

**Tabla 4. Temperaturas mensuales media y máxima y mínima observadas.**

	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	22.95	21.97	19.73	14.71	10.65	7.68	7.23	9.16	11.67	15.67	18.81	21.53
Máxima observ.	41.1	41.4	40	34.2	30.1	23.2	24.9	27.9	33	36.5	41	40.8
Mínima Observ.	6	6.7	2.5	-0.7	-3.4	-5	-7.7	-5.1	0.8	-1.7	5	7.6

**Tabla 5. Precipitaciones medias mensuales para el período 1992 – 2008**

Mes	pp. Promedio	Máx. precipitación mensual	Máx. precipitación en un día
Enero	16.07	86.61	84.07
Febrero	29.28	195.07	195.07
Marzo	28.13	102.11	99.06
Abril	34.61	165.6	103.12
Mayo	25.47	87.63	37.08
Junio	33.52	177.54	119.89
Julio	17.62	90.43	61.98
Agosto	13.25	43.17	39.88
Septiembre	16.62	73.4	32.51
Octubre	24.14	93.47	50.04
Noviembre	19.09	121.94	74.93
Diciembre	34.05	156.98	141.99

**Tabla 6. Torrencialidad. Máximas lluvias diarias registradas en el período 1991-2008, ordenadas de mayores a menores eventos.**

Año	Mes	Día	Precipitación
1994	Febrero	25	195.07
1993	Diciembre	25	141.99
1995	Junio	12	119.89
2004	Abril	5	103.12
2005	Marzo	21	99.06
1995	Enero	22	84.07
1992	Noviembre	20	74.93
2006	Julio	27	61.98
1995	Junio	11	55.12
1996	Diciembre	6	55.12
1995	Octubre	4	50.04
2001	Octubre	7	44.96
2004	Abril	22	44.96
1988	Agosto	31	40.89
2003	Agosto	5	39.88
1997	Octubre	15	39.88
1991	Diciembre	11	39.12
1997	Junio	14	38.1
1992	Mayo	11	37.08
2004	Marzo	31	36.07
1994	Mayo	23	36.07
2001	Abril	18	35.31
2001	Octubre	6	35.05
1992	Noviembre	21	34.04
1995	Abril	9	34.04
1992	Diciembre	12	33.02
2000	Septiembre	20	32.51
2001	Agosto	5	30.23

La estación más lluviosa es el otoño y la menos lluviosa el invierno.

La torrencialidad es un factor importante en los procesos de erosión del acantilado por su contribución a la generación de cárcavas y el efecto sobre los bloques muy diaclasados. Debe tomarse en cuenta que durante los meses de verano, de mayor afluencia turística, las precipitaciones, aunque menores en promedio que las de invierno, pueden presentar eventos de gran magnitud. Así, las mayores precipitaciones en un día durante el período 1991-2008 se registraron en los meses de diciembre, enero y febrero.

En el período 2001 a 2008 se observaron 28 registros de tormentas con precipitación de más de 30 mm en un solo día. Obsérvese que en el período 1993-1995 se registraron 3 eventos de gran magnitud con precipitaciones diarias de más de 100 mm. Aunque la importancia de estos eventos en la morfología de los acantilados es poco conocida, debe tenerse en cuenta que las grandes tormentas debilitan a los acantilados y aumentan la probabilidad de caídas de rocas incluso varios días después de la tormenta. En virtud de esto, luego de tormentas torrenciales en verano, deben incrementarse los monitoreos y extremarse las advertencias a turistas respecto de los riesgos de derrumbe hasta varios días después de cada evento extremo.

### 1.3.1.3 Vientos

En general, las velocidades medias más fuertes correspondieron a las direcciones N, SE, S, NO, SO y O con valores que varían entre los 18 y 24 km/h. La máxima frecuencia de direcciones es variable, correspondiendo a las direcciones N, SE, S, NO y O (Est. Climáticas Ser. Met. Nacional).

### 1.3.1.3.4 Clima de la región

Según Papadakis, el clima es árido, comprendido en la categoría de Peripampeano semiárido casi marítimo, régimen hídrico de estepa y térmico pampeano, con amplitudes térmicas atemperadas. Aplicando el esquema de Thornthwaite es árido microtermal, observándose que la influencia de los vientos oceánicos, más húmedos y frecuentes en invierno, permite tener condiciones benéficas de humedad.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, basada en la temperatura, precipitación y vegetación, los principales grupos climáticos de la región corresponden a climas B: climas secos donde la evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico y dentro de éste específicamente a un clima BW: Árido (desértico), donde las precipitaciones anuales son inferiores a 400 mm. BWk-desértico frío: La temperatura media anual está por debajo de los 18° C. Las lluvias medias anuales están entre un 50% y un 100% de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro.

## 1.4 El subsistema natural

### 1.4.1 La biota costera

#### 1.4.4. 1 Vegetación

La zona costera que incluye a los sectores de Punta Villarino y la margen norte del golfo entre Punta Delgado, Las Grutas y El Sótano, se caracteriza por la existencia de una secuencia de formaciones dunares, sobre las cuales han evolucionado y se han estabilizado comunidades vegetales típicas, cuya conservación y manejo sustentable han merecido la adopción de medidas específicas en el contexto del Plan Director de Ordenamiento Territorial del Ejido Municipal de San Antonio Oeste (Ord. Munic. N° 2402/05).

Sobre estas formaciones y también sobre los acantilados predominan plantas psammófilo-salinas, tales como el olivillo, *Hyalis argentea*, la poácea *Sporobolus rigens* (unquillo), algunas especies propias de la estepa herbácea (*Stipa*, *Poa*, *Schismus*) y otras frecuentes en la primera línea del frente dunar.

La vegetación se compone de plantas adaptadas a las condiciones de la línea de costa. Estas especies se encuentran sometidas a la acción del agua de mar arrojada por el viento, cuyos efectos se manifiestan en zonas alejadas varios metros de la costa. Las características del suelo condicionan la presencia de especies adaptadas a diferentes situaciones. Se trata de plantas halófilas, capaces de tolerar altos contenidos de sales en el suelo y en el aire atmosférico. Estas plantas desarrollan un potente sistema radicular y producen renuevos vegetativos para poder adaptarse a las condiciones cambiantes del medio

Tabla 7. Vientos.

Dirección	Frecuencia anual	Vel. Media
N	186	18
NE	30	13
E	69	16
SE	106	20
S	146	24
SO	34	22
O	112	24
NO	206	18
Calma	111	

arenoso. El sistema dunar presenta una gradación y sustitución de las comunidades vegetales en función de la concentración de sales y de la estructura y granulometría del suelo.

#### 1.4.4. 1 Fauna

La zona del frente de playa en torno a Las Grutas, y en particular la Bahía de San Antonio, constituyen hábitat permanentes y/o transitorios de diversas especies de aves marinas y costeras.

Más de 75 especies de aves costeras y marinas fueron registradas en este entorno ambiental.

Entre las más conspicuas se destacan especies típicas de la avifauna marina patagónica tales como las gaviotas cocinera *Larus dominicanus* y capucho café *L. maculipennis*, gaviotín sudamericano *Sterna hirundinacea*, ostrero común *Haematopus ostralegus*, biguá *Phalacrocorax olivaceus*, flamenco común *Phoenicopterus chilensis*, pato mairero *Anas georgica*, pato capuchino *A. versicolor* y macá grande *Podiceps major*.

Un párrafo especial merecen diferentes especies de presencia estacional tales como algunas especies de chorlos y playeros, que utilizan diferentes sectores del ambiente intermareal como sitios de alimentación y descanso en

sus rutas migratorias entre América del Norte y el sur de Argentina. Entre las especies más frecuentes en este sector del ecosistema costero se pueden citar los playeritos rabadilla blanca *Calidris fuscicollis* y blanco *C. alba*, el playero rojizo *C. canutus*, la becasa de mar *Limosa haemastica* y el chorlito de doble collar *Charadrius falklandicus*. La presencia relevante de este grupo de aves migratorias en la Bahía San Antonio y su área de influencia ha determinado que este humedal costero haya sido declarado Reserva Hemisférica Internacional de la Red Hemisférica de Reservas de Aves Playeras.

#### 1.4.4. 1 La vegetación acuática

Con relación a las algas y otros vegetales acuáticos se destacan como unidades ambientales los canales y charcas de marea y las planicies arenosas o limo-fangosos cubiertos por asociaciones de *Spartina* o *Salicornia*.

La información disponible de este último grupo de vegetales acuáticos es sumamente escasa a la fecha. No obstante, las biocenosis dominadas por estas especies son más bien propias de los ambientes del interior de la bahía, siendo escasa la presencia de este tipo de vegetación en el frente de playa de Las Grutas. Algunas formaciones de *Spartina* recién comienzan a hacerse visibles en el sector intermareal a partir de la séptima bajada de Las Grutas y hacia el sur.

Para el grupo de las algas las características de los sustratos disponibles presentan una gran relevancia. Las algas crecen sobre los rodados que se encuentran entre la fracción arenosa. Los niveles más altos del intermareal carecen de cobertura algal; en ese nivel predominan la fracción arenosa y conchillas. En los niveles medios, las áreas cubiertas de algas presentan distribución irregular formando parches en zonas de retención de agua (encharcados). En los niveles inferiores la distribución de algas es más uniforme, el sustrato presenta mayor presencia de rodados medianos y pequeños que facilitan el asentamiento de especies algales.

Desde el punto de vista de la presencia de las algas, el ecosistema de la bahía se caracteriza por la existencia de un patrón espaciotemporal de presencia de especies: dominantes o conspicuas, de abundancia intermedia, y raras u ocasionales.

De las seis especies de algas verdes (*Chlorophyta*) sólo *Enteromorpha spp* y *Ulva spp* (particularmente *Ulva lactuca*) están presentes todo el año. Las otras se registran durante el verano. La presencia de *U. lactuca* se destaca en primavera y verano como es característico en esta especie. Sobre el sustrato rocoso del infralitoral frente al sector de playas de Las Grutas se registran notables praderas de *Codium sp.* durante las estaciones cálidas.

En la bahía y zona de influencia se registran seis especies de algas pardas (*Phaeophyta*), entre las cuales se observa la clara estacionalidad de *Cladostephus spongiosus* en invierno y *Hinckesia granulosa* en primavera, estación en la cual aparece como clara dominante. *Dictyota dichotoma* aparece todo el año, pero sólo en verano muestra valores de biomasa más significativos. Entre las algas rojas (*Rhodophyta*) se contabilizaron en la bahía y zona de influencia un total de 19 especies, de las cuales las más constantes son: *Anotrichium furcellatum*, *Antithamnion sp*, *Ceramium rubrum*, *C. strictum*, *Gymnogongrus sp* y *Polysiphonia abscissa*. Se destacan las dominancias estacionales de *P. abscissa* en invierno y *Gymnogongrus sp* en verano-otoño.

### 1.5 El subsistema antrópico

#### 1.5.1 Actividades Productivas

##### 1.5.1.1 Actividades y usos del suelo costero

Entre las actividades más relevantes relacionadas con la afectación y uso del suelo costero se encuentran el turismo y el desarrollo urbano generado por dicha actividad. La misma ha comenzado a generar conflictos ambientales a partir de la destrucción de hábitat costeros por su acción directa como así también por la contaminación asociada. También la apertura de numerosas vías de comunicación clandestinas (huellas) en zonas costeras y el incremento de basurales clandestinos están produciendo impactos significativos sobre el ambiente.

##### 1.5.1.1 Turismo y recreación costera y marina

El principal atractivo turístico de la zona, que representa la principal motivación de viaje para más del 80 % de los turistas, es el ambiente natural. En la región se ofrece

una importante gama de servicios que involucran el uso turístico de los recursos naturales y todos ellos forman parte de la oferta turística.

Según estadísticas oficiales para la temporada estival 2007/2008 se registraron 320.000 turistas. El avance masivo de la demanda está indicado por el aumento de la cantidad de plazas hoteleras disponibles. La Tabla 8 muestra las variaciones entre los años 2006 y 2008 para diferentes puntos turísticos costeros. La variación interanual de plazas disponibles en Las Grutas entre 2006 y 2007 fue de 50%, el mayor de todo el país, lo cual evidencia el rápido crecimiento del balneario. En virtud del rápido crecimiento de la demanda, sumado a la alta estacionalidad y concentra-

ción de visitantes, se genera una sobrecarga no sólo sobre el recurso natural playa, sino también sobre todo el sistema de infraestructura de Las Grutas. Dado que el sistema de infraestructura no puede responder a la velocidad en que lo hace la demanda turística, se generan condiciones de degradación ambiental que repercuten también sobre el principal atractivo del lugar: los acantilados.

### 1.5.1.1 Otras actividades productivas de relevancia

Además de las actividades mencionadas, las restantes actividades económicas que revisten interés en la zona de San Antonio son:

**Tabla 8. Ocupación hotelera en los principales balnearios atlánticos.**

Localidad	Categoría	Año			Variación Interanual	
		2006	2007	2008	2006 - 2007	2007 - 2008
Las Grutas	Plazas disponibles	72,137	112,871	114,855	56.47	1.76
	Plazas ocupadas	53,564	66,656	81,318	24.44	22
	% de ocupación,	74.25	59.06	70.8		
Puerto Madryn	Plazas disponibles	141,422	134,013	141,949	-5.24	5.92
	Plazas ocupadas	76,153	71,439	67,570	-6.19	5.42
	% de ocupación,	53.85	53.31	47.6		
Villa Gesell	Plazas disponibles	506,354	589,218	579,143	16.36	1.71
	Plazas ocupadas	383,595	475,556	426,386	23.97	10.34
	% de ocupación,	75.76	80.71	73.62		
Mar del Plata	Plazas disponibles	1,680,165	1,779,728	1,727,868	5.93	2.91
	Plazas ocupadas	1,105,756	1,119,696	1,132,932	1.26	1.18
	% de ocupación,	65.81	62.91	65.57		
<b>Total Patagonia</b>	<b>Plazas disponibles</b>	<b>2,012,847</b>	<b>2,160,640</b>	<b>2,188,696</b>	<b>7.34</b>	<b>1.3</b>
	<b>Plazas ocupadas</b>	<b>1,163,880</b>	<b>1,170,553</b>	<b>1,247,621</b>	<b>0.57</b>	<b>6.58</b>
	<b>% de ocupación,</b>	<b>57.82</b>	<b>54.18</b>	<b>57</b>		

- Producción de carbonato de sodio por proceso *solvay* (Álcalis de la Patagonia SA).
- Actividad portuaria relacionada con los desembarcos de la pesca en jurisdicción de la provincia de Río Negro, localizada en el canal interior de la Bahía de San Antonio.
- Actividad minera: relacionada con la producción de materias primas para la industria como, por ejemplo, la sal y en la extracción de áridos para la construcción.
- Ganadería extensiva: basada principalmente en la producción de ganado bovino para engorde posterior en feed lot y de ovinos para producción de lana.
- Producción de aceite de olivos: basada en la aptitud del clima regional para el cultivo de variedades aceiteras de olivo, esta actividad, aunque de incipiente desarrollo aún, se encuentra en proceso de expansión en la región.

## 1.6 Zonas y Áreas protegidas

La Bahía de San Antonio y sus zonas aledañas han sido jerarquizadas hace más de 10 años como Área Natural Protegida (ANP) por la Ley N° 2670 de la provincia de Río Negro. Por otra parte, en el marco del Plan Director de Ordenamiento Territorial del Ejido Municipal de San Antonio Oeste (Ordenanza Municipal N° 2402/05), se han establecido también áreas costeras de reserva como los parques dunares con la finalidad de proteger sus atributos naturales y paisajísticos.

El ANP Bahía San Antonio cuenta además con una Autoridad Local de Conservación (ALC), como órgano consultivo del Consejo de Ecología y Medio Ambiente (Autoridad de Aplicación). La ALC, junto al Codema, IBMP Alte. Storni y ONG's locales y regionales, se encuentran trabajando en el desarrollo del Plan de Manejo para el ANP Bahía San Antonio. Los lineamientos y pautas de manejo surgidos de dicho plan, al menos en su etapa de formulación, serán incorporados en el estudio de profundización del puerto de San Antonio Este y del impacto ambiental relacionado.

### 1.6.1 Hábitat de valor para la conservación

Estudios desarrollados con anterioridad han permitido identificar a priori diversos hábitat que juegan un papel preponderante en los ciclos de vida de algunas de las especies que habitan el ecosistema de la bahía y su zona de influencia. Se trata de hábitat cuya complejidad física, variables fisicoquímicas, textura, componentes del sustrato, productividad y biota asociada, constituyen factores determinantes para la subsistencia de algunas fases ontogénicas de dichas especies.

### 1.6.2 Corredores de especies migratorias costeros y marinos

Corredores naturales que comprenden desplazamientos periódicos o rutinarios y otros de base anual han sido identificados para el área de estudio. Entre los primeros se encuentran las áreas de caza o forrajeo transitadas a diario por una población residente de delfín nariz de botella, entre el interior de la bahía y sus zonas aledañas. En el segundo caso se pueden mencionar las rutas migratorias anuales de aves playeras y ballena franca austral.





## 2 . Estudio bacteriológico expeditivo del frente de barrancas de Las Grutas

### 2.1 Objetivo

Como parte del estudio se realizaron muestreos de agua de las filtraciones a lo largo de los acantilados de Las Grutas para determinar niveles bacterianos, indicadores de contaminación fecal, a fin de inferir la potencial contribución de agua proveniente de los pozos ciegos o el sistema cloacal al escurrimiento observado sobre los acantilados.

### 2.2 Antecedentes

Al hablar de contaminación microbiológica en el agua de mar se hace referencia a las bacterias fecales. Este es el grupo de bacterias más estudiado y, dentro de ellas, las que forman parte de la flora intestinal humana pueden indicar de manera inequívoca el devenir de este tipo de contaminación una vez que entra en el sistema marino. Al hablar de coliformes fecales se alude a que este tipo de microorganismos se utilizan como indicadores de la existencia de contaminación microbiológica, es decir, su presencia en un lugar puede indicar la existencia de otros microorganismos que resulten patógenos.

El grupo coliforme está integrado por bacterias fáciles de identificar a través de análisis microbiológicos. Normalmente, el grupo de los coliformes fecales son sólo parte de los totales, y se encuentran naturalmente en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente. Todas las bacterias del grupo coliforme son afines a la materia orgánica, y sólo se desarrollan cuando se dan las condiciones ideales para su proliferación.

La presencia de coliformes totales y fecales en los cuerpos de agua indica que allí hay altas concentraciones de materia orgánica que está siendo aprovechada por este tipo de bacterias para su reproducción, con lo cual obviamente se afecta tanto la calidad del agua, como la salud de los habitantes y visitantes.

La presencia de bacterias del grupo coliformes permite detectar heces en el agua en concentraciones extremadamente diluidas, que son difíciles de detectar por los métodos químicos normales. De esa forma, la existencia de estas bacterias en el agua nos sugiere que el agua recibió excrementos o aguas fecales.

Entre fines de 2005 y principios de 2006 se evaluó la intensidad de la contaminación bacteriana en varios puntos de la costa de la Bahía de San Antonio y las playas de Las Grutas. En esa oportunidad se colectaron muestras de agua de mar, las que se analizaron en el Laboratorio de FUNBAPA, en Viedma, el cual contaba entonces con la homologación del SENASA para la realización de este tipo de análisis (Narvarte, 2006).

El método aprobado por EPA (Environmental Protection Agency de los Estados Unidos) y aplicado por el Ministerio de Salud de la Argentina, es el análisis de muestras que se colocan en múltiples tubos de ensayo, para establecer el número más probable (NMP) por cada 100 mililitros (ml) de agua. Es decir, este tipo de análisis no indica con exactitud la cantidad de coliformes, sino el número más probable presente en una medida específica, que en este caso son 100 mililitros del agua en estudio.

La normativa de EPA establece diferentes valores máximos permitidos de coliformes totales y fecales en un cuerpo de agua, dependiendo del uso que se le vaya a dar a ésta. Para ello, las clasifica en: a) aguas para uso doméstico e industrial con requerimientos de agua potable, b) aguas para usos agropecuarios, c) aguas marinas destinadas a la cría y explotación de moluscos, d) aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia; e) aguas para uso industrial que no requieren agua potable, f) aguas para la navegación y generación de energía, y g) aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de contaminantes sin que se produzca interferencia en el ambiente adyacente.

**Tabla 8. Límites de confianza superiores provisorios correspondientes a muestras aisladas de agua dulce. (\* Nivel umbral utilizado en este estudio).**

Indicador	Límite de confianza superior provisorio para una muestra aislada (colonias/100 ml)					
	Tasa de gastroenteritis aceptable cada 1000 individuos	Media geométrica de la densidad del indicador (colonias/100ml)	LCS *(75%) Uso altamente frecuente	LCS (82%)Uso moderadamente frecuente	LCS (90%)Uso escasamente frecuente	LCS (95%) Uso infrecuente
Enterococos	8	33	62	89	108	151
<i>E. coli</i>	8	126	235	298	406	576

El indicador más utilizado en agua de mar es el de Enterococos, mientras que en agua dulce es la bacteria *Escherichia coli*. Los valores límite para aguas de uso recreativo, como las de Las Grutas y el interior de la Bahía de San Antonio, se presentan en la Tabla 8.

En el estudio realizado entre 2005 y 2006, el grupo Enterococos estuvo presente en todas las fechas analizadas, y uno de los sitios de muestreo tuvo frecuentemente valores por encima del valor límite establecido para sitios recreativos (104 NMP/100 ml agua de mar).

Las estaciones con mayor grado y frecuencia de contaminación fueron la Bajada 3 de Las Grutas (estación 9), con nueve de 20 muestras que superaron el umbral, y dentro del canal interno de la Bahía de San Antonio, la estación 10, con 10 de 20 muestras con niveles superiores al umbral. En el caso de *E. coli*, que no es un buen indicador de contaminación en agua de mar, valores por encima de los niveles guía (235 NMP/100ml) se registraron principalmente en febrero y marzo.

Si bien estos grupos, coliformes totales y *E. coli*, no se utilizan para determinar contaminación en agua de mar, los datos obtenidos indican que en las estaciones con altos niveles de estos indicadores se descargan efluentes líquidos desde tierra firme, probablemente por filtración a través del sedimento. Con estos indicadores las estaciones correspondientes a Las Grutas también fueron las que mostraron mayor frecuencia de contaminación.

### 2.3 Metodología

Para la toma de muestras de agua se siguió el procedimiento establecido por la EPA. Se seleccionaron 15 sitios de la barranca entre las bajadas Cero y Séptima. En cada uno de ellos, donde fue posible, se colectaron muestras de agua de escurrimiento en tres niveles diferentes: superior (S), medio (M) e inferior (I). Los muestreos fueron realizados los días 11 de enero y 20 de febrero de 2008.

Se utilizaron frascos estériles de material plástico, de 125 ml de capacidad. Todas las muestras fueron selladas, rotuladas y refrigeradas inmediatamente después de la recolección y enviadas al Laboratorio de Salud Ambiental de la provincia de Río Negro para su análisis posterior. Los resultados se informaron en UFC y NMP.

Se realizaron determinaciones de coliformes totales y *E. coli*, mejores indicadores de contaminación bacteriana en agua dulce. Los resultados obtenidos en los análisis fueron cotejados con los niveles umbral establecidos por EPA.

### 2.4 Resultados e interpretación

Los resultados de los muestreos realizados el 11 de enero de 2008 se presentan en la Tabla 9. Todas las muestras analizadas estuvieron por debajo de los niveles que denotan contaminación.

**Tabla 9. Resultados de los análisis bacteriológicos para el muestreo del 11 de enero de 2008.**

Estación	UFC/ml	NMP/100ml	NMP/100ml	UFC/ml
	Coniformes totales	Coliformes totales	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>
E1S	20	240	9,1	
E2M	SD	<3	<3	
E3M	5	7,3	<3	
E4I	30	43	<3	
E5M	20	240	<3	
E6I	SD	<3	<3	
E7I	SD	<3	<3	
E8M	SD	<3	<3	
E9S	SD	<3	<3	
E10I	80	3,6	3,6	
E11I	50	240	<3	
E12M	SD	3,6	<3	
E13M	1	3	<3	
E14S	SD	<3	<3	
E15M	10	9,1	<3	

Referencias: UFC= unidades formadoras de colonias, NMP=número más probable.

En los análisis correspondientes al 20 de febrero de 2008, dos de las muestras obtenidas indicaron contaminación bacteriana fecal; en el caso de la muestra E4I (Estación 4, Nivel Inferior), ambos indicadores (coliformes totales y *E. coli*) lo evidenciaron, mientras que en la muestra E8M (Estación 8, Nivel Medio), sólo los coliformes totales manifestaron niveles por encima del umbral.

**Tabla 10. Resultados de los análisis bacteriológicos para el muestreo del 20 de febrero de 2008.**

Estación	UFC/ml	NMP/100ml	NMP/100ml	UFC/ml
	Coliformes totales	Coliformes totales	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>
E1S	SD	<3	SD	
E2M	SD	<3	SD	
E3M	52	210	SD	
E4I	60	11000	210	4
E5M	SD	<3	SD	SD
E6I	SD	<3	SD	SD
E7I	SD	<3	SD	SD
E8M	6	1100	93	1
E9S	220	14	SD	SD
E10I	210	128	SD	SD
E11I	SD	<3	SD	SD
E12M	SD	<3	SD	SD
E13M	SD	<3	SD	SD
E14S	No se tomaron muestras			
E15M	No se tomaron muestras			

Referencias: UFC= unidades formadoras de colonias, NMP=número más probable.

Como aspecto para destacar cabe señalar que las estaciones en las que el agua de escurrimiento de las barrancas presentó niveles de contaminación bacteriológica importante se localizaron en los siguientes sitios específicos:

- Estación 4, Nivel Inferior (E4I): escorrentía localizada al pie de la explanada de la 3ra. Bajada, sobre el lado de la senda peatonal.
- Estación 8, Nivel Medio (E8M): filtración localizada entre las Bajadas 3ra. y 2da., a unos 50 metros de ésta última, y a unos 3 metros de altura desde el pie del acantilado.





## 3. Geología regional

### 3.1 Descripción general

El ámbito de estudio se encuentra ubicado al norte del Golfo San Matías, en la zona de contacto del mar con el continente. Las diferentes litologías presentes y las unidades geomorfológicas abarcan un muy importante período geológico, como así también unidades de génesis muy variadas, lo que motiva una evolución geomorfológica compleja. (Fig 4).

Las rocas más antiguas de la región corresponden a los esquistos e ictinitas de la Fm Nahuel Niyeu del Proterozoico superior, continuando cronológicamente los pequeños afloramientos de la cuarcita de la Fm Sierra Grande.

El basamento metamórfico está intruído por rocas graníticas y granitos con cataclasis del Complejo Plutónico Paileman del Carbonífero superior-Triásico inferior, cuyos afloramientos pueden observarse en la zona de Piedras Coloradas, al sur de las Grutas. Estratigráficamente le continúan los conglomerados de la Fm Puerto Piris, las riolitas e ignimbritas Jurásicas del Complejo Volcánico Marifil, las arenas y limolitas marinas de la Fm Arroyo Barbudo, los basaltos olivínicos de la Fm Somún Curá y las areniscas marinas de la Fm Gran Bajo del Gualicho (=equivalente a la Fm. Patagonia, de amplio uso). Por encima se depositan las areniscas fluviales de la Fm Río Negro, cubiertas por los Rodados Patagónicos.

Al Cuaternario son atribuidos los depósitos conglomerádicos de la Fm Loma Mágica, Fm Baliza San Matías, Fm San Antonio y Fm Laguna Indio Muerto, continentales la primera y última y litorales las dos intermedias.

### 3.2 Características litológicas de los acantilados

Los acantilados que se desarrollan desde la zona de La Rinconada hasta la Bajada 6 están representados por un conjunto importante de secuencias litológicas,

las que varían desde las muy resistentes a la erosión y que conforman paredes verticales hasta aquellas que, fundamentalmente en su parte superior, se presentan de manera extremadamente friable, haciendo que el desprendimientos de material sea permanente en la medida en que son disturbados o van perdiendo sustento físico.

Si bien las diferentes facies sedimentarias no siempre se registran a lo largo de toda el área, se realizará una caracterización geológica integral de las unidades que se encuentran involucradas en el área de estudio y sus alrededores, haciendo hincapié fundamentalmente en los componentes litológicos de los acantilados.

En lo sucesivo y para dar cuenta de las variaciones longitudinales observadas en la estructura y procesos sobre los acantilados nos referiremos a cuatro secciones a lo largo del sector costero estudiado.

Sección I: desde La Rinconada hasta la bajada de La Rueda.  
Sección II: desde la bajada de La Rueda hasta la bajada I.  
Sección III: desde la bajada I hasta la bajada III.  
Sección IV: desde la bajada III hasta el Cañadón Sur.

#### 3.2.1 Formación Gran Bajo del Gualicho

En el área de estudio se encuentra con una muy buena representación, constituyendo parte de los acantilados y pendientes de todos los bajos, aunque las observaciones discontinuas no permiten ver los 200 m de espesor que tiene la unidad en el sector de Las Grutas. Esta unidad estaría representando la transgresión denominada Patagónica o Fm Patagonia, de una amplia distribución no sólo en la Patagonia, sino en gran parte de Sudamérica, postulándose incluso hipótesis sobre su unión a través del norte argentino con el Mar Caribe.

Las sedimentitas que fueron agrupadas en esta unidad corresponden a las originales denominaciones con que fueron agrupadas las ingresiones marinas del Patagónico y Entrerriense, que ocuparon vastos sectores del territorio nacional durante el Mioceno.

Litológicamente se compone casi exclusivamente de arcillas y arenas con colores que varían entre el pardo amarillento, pardo grisáceo y verde. Texturalmente se asocian a arcillitas, arcillitas arena margosas, calcoarenosas, areniscas de grano mediano a fino, areniscas coquinoideas, arcillosas y calcáreas, presentándose en algunas oportunidades materiales tobáceos y niveles de yeso, ya sea cristalizado o en forma pulverulenta.

En función de la fauna presente se le asigna una edad Mioceno.

En el área de trabajo esta formación fue dividida en tres horizontes principales (A, B y C) dividiéndose a su vez las dos últimas en B1/B2 y C1/C2.

### 3.2.1.1 Horizonte A

Constituye un banco masivo, arcilloso, resistente, de color verde claro a verde amarillento que en su mayor expresión tiene de 1,5 m de espesor entre las bajadas 1-3 (Fig. 5). Mineralógicamente este horizonte litológico está constituido por Cuarzo 25%, material illítico 19%, Esmectita 10 %, Plagioclasa (Feldespato Na-Ca) 40 % y Microclino (Feldespato K) 6 %. Debido a la diferencia topográfica a lo largo de la base de los acantilados, este banco no se observa con regularidad, pero donde está presente constituye el piso de los afloramientos de agua, debido a su bajo grado de permeabilidad. El perfil que forma el mar sobre esta sección es desde vertical a convexo.

### 3.2.1.1 Horizonte B

Por encima del Horizonte A se desarrolla el Horizonte B, muy estructurado, con espesores de alrededor de 4 m. Se apoya en neta discordancia sobre el Horizonte A, y el contacto constituye el principal plano de escurrimiento del agua subterránea, en respuesta a las características impermeables del Horizonte A (Fig. 6).

El Horizonte B es de origen marino, indicado por fósiles y trazas fosilíferas. En función de sus características litológicas se lo puede dividir en los horizontes B1 (inferior) y B2 (superior). Este horizonte, a diferencia del Horizonte A, se observa con distintas características (color, estructura, espesor, presencia o ausencia de agua, nivel de bioturbación, desarrollo de cuevas, cavernas y oquedades) a lo largo de toda la línea de costa de Las Grutas. (Fig. 7)

#### 3.2.1.1.1 Horizonte B1

Esta sección está compuesta por un sedimento arenolimoso a arcilloso, de color amarillento a castaño, con una fina estratificación lenticular y ondulítica con espesores medios de 2 a 3 metros. En sectores pueden presentar signos de bioturbación, ya sea con conductos vacíos o rellenos, que se disponen en general en forma transversal a la estructura. También se observan escasas concreciones silíceas de forma cilíndrica de 5 a 6 cm de diámetro y alargadas de hasta 30 cm. En forma aislada se observan fragmentos de conchillas y concreciones de MnO milimétricas, gran cantidad de clastos muy irregulares de varios centímetros de diámetro con superficies lustrosas y en otros casos con orificios producto de la bioerosión.

Mineralógicamente este horizonte litológico está constituido por cuarzo 27%, material illítico 9%, halita 12 %, plagioclasa (feldespato Na-Ca) 20 % y microclino (feldespato K) 8 %, dolomita 9 % y carbonatoapatita 15%.

Puede presentarse sin base expuesta, cubierta por las arenas de la playa o con su base aflorante descansando sobre el Horizonte A.

La estratificación ondulítica y lenticular, asociada a ambientes intermareales a submareales, produce la alternancia de estratos de arcilla y arenas con espesores individuales que van desde los 1 a 2 cm hasta los 10 cm. Las capas de arcilla presentan una gran resistencia, pero las capas de arena son algo friables, lo que hace que, tanto la acción del oleaje como la del escurrimiento subterráneo, eliminen progresivamente estos sedimentos, generándose vacíos a lo largo de todo el perfil (Fig. 7). Esta situación hace que una porción de los acantilados, generalmente la base, sea mucho

mas propensa a la erosión que otros sectores. Justamente es en el horizonte B1 donde se desarrollan con mayor preponderancia las diferentes cavernas del balneario.

Este horizonte, conformado por la alternancia de niveles de arenisca y fango silicoclástico en proporciones similares, presenta una muy alta densidad de trazas fósiles, algunas de ellas con laminación interna constituida por pellets fecales. Es común la presencia de galerías verticales a subverticales gruesas (diámetro mayor a 5 cm) que finalizan en una cámara con desarrollo paralelo a la estratificación, y que, en muchos casos, puede ser rastreable hasta los niveles superiores. En algunos perfiles se puede observar mayor proporción de arena en la porción superior de esta subunidad. El contacto con el horizonte A es neto. El contacto con la unidad C superior es comúnmente gradual.

### 3.2.1.1.2 Horizonte B2

De manera transicional se pasa a este horizonte, caracterizado por un sedimento areno arcilloso, castaño amarillento a amarillento con una gran cantidad de bioturbaciones, tanto rellenas como vacías, verticales, horizontales e inclinadas, y de muy variadas dimensiones. Los procesos biológicos han producido un material totalmente alterado, muy removido, haciendo que la estructura original que caracteriza al Horizonte B1 esté prácticamente casi ausente. (Fig. 7).

Mineralógicamente este horizonte litológico está constituido por cuarzo 30%, material illítico 18%, caolinita 2 %, esmectita 7%, plagioclasa (feldespato Na-Ca) 37 % y microclino (feldespato K) 6 %.

Este horizonte presenta una alta densidad de galerías de crustáceos con desarrollo tridimensional y disposición paralela a la estratificación. Está también atravesado por galerías gruesas y cuenta con cámaras finales de éstas, tal como fue descrito en el Horizonte B1.

### 3.2.1.2 Horizonte C

Por encima del Horizonte B1 se desarrolla un sedimento groseramente estratificado, conformado por una arenisca fina a muy fina bien seleccionada limpia, pobremen-

te cementada, con un desarrollo vertical que aumenta hacia el NE, con alrededor de 2 metros en el sector IV y de más de 5 metros en el sector I. Carece de estructuras sedimentarias mecánicas, de color amarillento, con restos de moluscos y con algunos clastos dispersos en su masa. (Fig. 8).

El contacto basal posee, en gran parte de las exposiciones, gruesas concreciones diagenéticas de origen silíceo. Dichas concreciones se encuentran en relación con galerías de diámetros que superan los 5 cm. Es común el hallazgo de una gran diversidad de bioturbaciones que no son fácilmente detectables debido a la falta de contraste de facies. A su vez, hacia la base es común la presencia de acumulaciones de fósiles que incluyen gastrópodos, dólares de mar, braquiópodos, colonias de briozoos y ostras. Tanto las colonias de briozoos como los dólares de mar y los braquiópodos son organismos marinos que no toleran ni la exposición subaérea ni variaciones importantes en la salinidad, lo cual indicaría una génesis submareal. Hacia el tope aparece en algunos sitios un estrato de cerca de un metro de espesor, con una estratificación plana poco marcada que se asemeja a un nivel heterolítico dominado por arena. El espesor de esta subunidad varía considerablemente, siendo de 4,30 metros en Bajada Cero, de menos de un metro hacia el sur, y de 5 metros o más hacia la bajada de los acantilados.

Este horizonte presenta superficies groseramente ondulantes de precipitados evaporíticos laminares (yeso), de escasos mm de espesor, pero de varios metros de continuidad. (Fig. 8).

Mineralógicamente este horizonte litológico está constituido por cuarzo 26%, material illítico 15%, esmectita 4 %, esmectita 11%, plagioclasa (feldespato Na-Ca) 34 %, microclino (feldespato K) 7 % y calcita 3%.

En algunos sectores este material presenta una estructuración marcada en bloques redondeados de hasta 2 m de espesor, más friable, produciéndose en la actualidad procesos de bioerosión causados por los loros y la caída de detritos. En función de estas características separamos el Horizonte C en dos subunidades (C1 y C2) diferenciadas principalmente por la masividad de la sección inferior y la mayor estructuración del horizonte superior. (Fig. 9).

### 3.2.1.3 Bioturbación y trazas fósiles

Toda esta sección presenta una extrema bioturbación con abundantes trazas fósiles. Las principales asociaciones icnofosilíferas se concentran en los horizontes B2 y C1, con preponderancia al norte de la bajada de La Rueda, pero observables a lo largo de todo el frente costero.

Las trazas presentan estructuras tridimensionales que varían entre unos pocos milímetros y cerca de un metro. Pueden seguir patrones espiralados, de túneles o palmas o como sistemas de galerías. A menudo presentan concreciones silíceas, las cuales abundan en el Horizonte B2. En general se asignan estas trazas a la acción de poliquetos o crustáceos en ambientes intermareales. (Fig. 10).

En términos generales se puede decir:

- Las secciones estudiadas poseen diferentes agrupamientos de trazas fósiles, que reflejan diferentes condiciones ambientales. La complejidad y diversidad de trazas fósiles es superior a lo descrito en la bibliografía para secciones equivalentes.
- El Horizonte B1 (heterolítico) está caracterizado por la presencia de *Asterosoma*, *Patagonichnus icnosp.* y otras icnoespecies que explotan la materia orgánica residente en los sedimentos.
- El Horizonte B2 posee principalmente una estructura tridimensional de *Spongeliomorpha suevica*. Si bien se hallaron otras trazas, éstas están mal expuestas, posiblemente por la falta de contraste de facies: el estrato está compuesto principalmente por arena.
- La sección C cuenta con una alta densidad y diversidad de trazas. Gran parte de los túneles subverticales de *Spongeliomorpha nodosa* comienzan en este subnivel. El resto de las trazas, entre las que se puede indentificar a *Skolithos*, requiere de un estudio pormenorizado y muy posiblemente arrojen evidencias importantes para la interpretación ambiental. La presencia de fauna marina estricta indica que esta subunidad se depositó al menos parcialmente en condiciones submareales en un mar con salinidad normal.
- La abundante bioturbación en algunos sectores ha alterado en forma radical la estructura sedimentaria original de la roca, modificando sus

propiedades de permeabilidad, cohesión y resistencia. Es probable que estas zonas altamente bioturbadas respondan de manera diferencial a los agentes erosivos y los procesos geológicos exógenos.

### 3.2.1.4 Rodados patagónicos

Por encima de la Formación Bajo del Gualicho se desarrollan localmente depósitos de gravas y arenas gravosas, compuestos por un conglomerado polimíctico, clastos sostén, de tamaño mediano a grueso y matriz escasa. Los clastos son redondeados a subredondeados, compuestos por vulcanitas (riolitas, dacitas andesitas y basaltos), plutonitas, cuarcitas y sedimentitas, con lentes de arenas de escasas dimensiones.

Pueden observarse estratificaciones diagonales y en artesas, con cemento calcáreo, concentrado generalmente en la parte superior.

En las inmediaciones del ACA la Fm Gran Bajo de Gualicho presenta un paleorrelieve negativo que es ocupado por 4 m de sedimentos fluviales estratificados, matriz sostén, de poca selección, con base irregular, propia de canales, coronados por sedimentos finos de desbordes. El material es muy friable, motivo por el cual se ha desarrollado una acción erosiva del mar mucho más acentuada que en los sectores aledaños. (Fig. 11).

Asimismo, estos sedimentos pueden verse a lo largo de los acantilados de manera saltuaria, con espesores que no superan los 2 m.

Debido a las diferentes facies de estos depósitos, siempre asociados a la acción fluvial, pero de diferentes ciclos sedimentarios, la edad varía desde fines del terciario a todo el Pleistoceno.

### 3.2.1.5 Depósitos Litorales

Los depósitos generados por las sucesivas ingresiones marinas han dejado depósitos en prácticamente toda la zona costera de la Bahía de San Antonio.

Estos depósitos han sido concentrados en dos unidades litoestratigráficas diferentes, correspondientes a dos ingresiones marinas, Fm Baliza San Matías y Fm San Antonio.

Están integradas por un conglomerado constituido por rodados, valvas y arenas, variando la textura dominante, por lo que es común observarla como clasto o matriz sostén. Las valvas pueden presentarse enteras, fragmentadas y en posición de vida, integradas mayormente por *Amiantis purpurata*, *Mactra sp.* y *Tagelus sp.*

Es común una estratificación paralela muy marcada, con suave pendiente hacia el mar, con las valvas dispuestas en general con la concavidad hacia abajo, y un comportamiento friable del material. El espesor en general no supera los 2 m, observándose en la zona de estudio coronando el acantilado desde La Rinconada hacia el centro de Las Grutas. También, la restinga a la altura de la Bajada 6 de esta localidad, está compuesta por sedimentos de 0,50 m de espesor de rodados, arena y fragmentos de conchillas, muy resistentes, que son atribuidos a procesos litorales generados durante una trasgresión. Es importante mencionar que existen depósitos ingresivos a cota 15 m, y como los últimos mencionados, en zonas intermareales.

Los depósitos que se encuentran sobre el acantilado pueden estar cubiertos por depósitos medanosos de colores castaños, cubiertos por los médanos actuales.

Arriba de éste, en discordancia se encuentran 2 m de un conglomerado arenoso, con conchillas enteras y fracturadas, y *Tagelus* en posición de vida, cubierto por un sedimento arenoso grueso, castaño medianamente friable, con restos de conchilla, cubiertos por los médanos actuales de 6 a 7 m de espesor y vegetados, compuestos por arenas finas de color gris.

### 3.2.1.6 Depósitos Eólicos

Las acumulaciones eólicas están representadas por formas medanosas y mantiformes, ocupando vastos sectores, agrupados como Fm Punta Villarino. Se encuentran cubriendo a los depósitos de las Formaciones Gran Bajo del Gualicho, Baliza, San Matías y San Antonio.

Texturalmente están compuestos por arenas medianas a finas y arenas finas limosas con colores castaños a grisáceos. Su mayor representación está dada como una franja paralela a la costa actual, degradada prácticamente en las áreas urbanas. Los espesores son muy variables, fluctuando entre los 2 y los 10 m.

## 3.3 Geomorfología en la zona de influencia de la localidad de Las Grutas

El Bajo de San Antonio Oeste presenta una evolución geomorfológica compleja, asociado originalmente a procesos de deflación, evolucionando posteriormente por procesos litorales.

La zona litoral en el ámbito de Las Grutas se caracteriza por la presencia de diferentes rasgos geomorfológicos, algunos vinculados a la erosión y acumulación marina y otros asociados a procesos continentales, entre los que se destacan los de remoción en masa, meteorización, acción fluvial y eólica.

El rasgo más destacable de esta localidad lo conforman los importantes acantilados observados al sur y norte de la misma, continuados estos últimos hasta finalizar la costa en la espiga de Punta Delgada, donde se desarrolla una playa compuesta en gran proporción por conchilla.

Debido a que los objetivos del presente trabajo se asocian a las problemáticas ocasionadas en las zonas acantiladas, se precederá a analizar específicamente este rasgo del paisaje.

### 3.3.1.1 Características de los acantilados y playas

Los acantilados marinos presentan alturas que varían entre los 4 y 12 metros. Están desarrollados fundamentalmente en sedimentitas marinas miocenas de la Fm Bajo del Gualicho. En algunos sectores puede observarse, desde la base de éstos con dirección al mar, amplias plataformas de abrasión, playas y terrazas marinas.

En el ámbito de este estudio las plataformas de abrasión están representadas por amplias planicies de suave pendiente hacia el mar, de varios kilómetros de largo y de hasta 400 m de ancho durante las mareas bajas. En su superficie presentan importantes surcos transversales a la costa y el desarrollo de un micro acantilado, funcional en mareas bajas, producto de la erosión de esta plataforma.

Las plataformas de abrasión presentes en la zona de estudio responden a dos litologías distintas. Frente a las secciones I y II están compuestas por sedimentitas marinas de la Fm Bajo del Gualicho, mientras que frente a la Sección IV se presenta una plataforma constituida por un conglomerado calcáreo de edad pleistocena, de pendiente suave hacia el mar, y separado del acantilado por una playa intermareal de aproximadamente 100 m de ancho.

Es común observar una playa escasa en el contacto del acantilado con la plataforma de abrasión, con ancho variable: hasta 60 m en la sección I, hasta 15 m, en la sección II, hasta 200 m en la sección III y IV.

La figura 12 muestra perfiles transversales típicos para diferentes secciones a lo largo del frente costero.





## 4. Procesos geológicos en Las Grutas

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

Distintos sectores de Las Grutas presentan mayor o menor intensidad y predominancia de estos procesos erosivos. Mientras algunos sectores muestran una marcada tendencia a la formación de cavernas, otros muestran exclusivamente procesos erosivos por caída del frente del acantilado, y en otros muestran diversas combinaciones entre una forma erosiva y otra.

Los tipos de remoción en masa observados en Las Grutas son principalmente deslizamientos de traslación y derrumbes de detritos.

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

En los acantilados de Las Grutas puede observarse esencialmente un proceso geomórfico donde participan la remoción en masa, los deslizamientos traslacionales (generalmente expresados en la caída de grandes bloques) y la caída de detritos (que involucran a los materiales friables de menor tamaño).

### 4.1.1 Caídas de detritos

Constituyen abruptos movimientos por desplazamiento libre de los materiales a partir de los acantilados. Corresponden fundamentalmente a materiales friables de conglomerados de diferentes unidades, ya sean continentales o marinas. También se observa que, en función de la estructura y los procesos que actúan sobre la ella, la Fm Bajo del Gualicho presenta sectores muy deleznable, lo que provoca la caída de materiales en forma continua.

En la zona de estudio los derrumbes de detritos se presentan de dos formas: caída de material fino, y caída de clastos.

La caída de material fino (Fig. 14) es producto de procesos de meteorización química (haloclastía, disolución) física (termoclastía) y de origen hídrico (hidroclastía). La movilización de las partículas se produce por flujo intersticial y el resultado es la acumulación temporal o permanente de pequeños clastos y material pulverulento al pie del acantilado, observable principalmente entre las bajadas 3 y 7. En algunos sectores donde las olas y mareas sólo llegan durante eventos extremos, esta caída de material genera acumulaciones al pie del talud, de hasta 50 cm de altura (Fig. 14). En otros sectores, donde la marea toca el pie del acantilado diariamente, el material pulverulento, mezclado con pequeños clastos angulares, se deposita en franjas de aproximadamente 50 cm de ancho al pie del acantilado (Fig. 15). Este proceso de caída de material fino parece estar asociado a zonas en las que el frente del acantilado está poco saturado por agua de escurrimiento y en concordancia con la presencia de pequeñas oquedades a diferentes alturas sobre el acantilado. El agua actúa en primer lugar disolviendo el material de cementación, y luego removiendo granos de la matriz arenolimsa de la estructura ondulítica y lenticular. Si bien es difícil evaluar la contribución de este tipo de erosión al proceso de retroceso del acantilado, debe tenerse en

cuenta que su presencia indica la existencia de procesos de escala reducida que afectan su integridad.

A lo largo de los sectores I y III es frecuente la caída de clastos provenientes del horizonte superior (D), compuesto principalmente de rodados patagónicos. Las caídas se producen debido a la alta pendiente que presenta el acantilado en estos sectores.

A lo largo del sector II se observa caída de clastos y bloques de mayor tamaño. En este sector los bloques son producto de la meteorización y la estructura de la roca, con un patrón de doble media caña desarrollada sobre la parte inferior del Horizonte B2, y la parte inferior del Horizonte C. Debido a su estructura sedimentaria los sectores inferiores de los horizontes B2 y C son más friables que el resto del conjunto, con mayor estructuración del sedimento y tendencia a la formación de estructuras craqueladas con desprendimiento de clastos pequeños a grandes. Estos clastos por ser de mayor tamaño y estar a una altura promedio de 8 metros sobre la base del acantilado suponen un alto riesgo medio para la integridad de las personas.

El retroceso relativo del horizonte B2 respecto al B1 y del C respecto al B2, varía entre 30 cm y 1,5.

#### 4.1.2 Deslizamientos de traslación

Constituye el desplome instantáneo y libre de bloques de cualquier tamaño y forma a través de superficies de discontinuidad (diaclasas o planos de estratificación). Muchos de estos diaclasamientos responden a procesos de meteorización como la hidroclastía (alternancia de humedad y sequedad), termoclastía (alternancia frío-calor) y la haloclastía (precipitación de sales en poros o superficies de discontinuidad) y la más importante, a la acción marina, acentuada fundamentalmente en períodos de sudestadas o mareas extraordinarias.

El socavamiento de la parte inferior del acantilado (Fig. 15 y 16) genera voladizos que sostienen masa sedimentaria de hasta 10 metros de altura, lo cual genera tensiones a lo largo de toda la estructura que favorecen la formación de grietas y diaclasas. El disparador final del deslizamiento puede ser: la ampliación de la diaclasa hasta el punto

de quiebre (generando una caída espontánea y difícil de predecir), el efecto de tormentas o la saturación del sedimento por efecto de lluvias. Si bien los desplazamientos son más frecuentes durante el invierno (probablemente por la mayor recurrencia de tormentas), pueden darse también en verano, en forma espontánea.

En la figura 17 pueden observarse cómo dos bloques “colgados” se presentan con diaclasas paralelas al frente del acantilado y en las dos fotografías inferiores la presencia de bloques dispersos en la playa, posteriores al desplome.

Los desprendimientos representan el mayor riesgo a la integridad de paseantes y bañistas. Si bien se han reportado casos durante el verano que no resultaron en accidentes mayores, los desprendimientos constituyen un factor de riesgo que debe ser controlado. La ocurrencia de desprendimientos es impredecible, si bien es posible reducir el riesgo de accidentes a través de un programa de control y monitoreo sistemático.

#### 4.1.3 Meteorización

El examen de las plataformas de abrasión y acantilados en la vecindad de las zonas de pleamar provee evidencia de que los procesos de intemperismo están operando en los afloramientos rocosos costeros que no están protegidos por una cubierta de suelo, sedimentos o vegetación sobre el nivel medio de pleamares. La descomposición superficial de las superficies de las rocas expuestas resulta del mojado y secado repetitivo, acompañado por cristalización de la sal, en la zona sujeta a la acción del salpicado. El intemperismo por el salpicado de sal es un proceso dominante en el desarrollo de la plataforma de abrasión en la costa tropical de Brasil donde la ausencia de detritos gruesos impide la abrasión por las olas y la alta insolación seca rápidamente la superficie de las rocas mojadas por el salpicado salino. Es, sin embargo, difícil disociar los efectos físicos del mojado y secado de los efectos fisicoquímicos de cristalización de las salpicaduras que se secan.

La cristalización de la sal tiene, probablemente, efectos corrosivos específicos y puede acelerar la meteorización en comparación con el mojado y secado en ambientes de agua dulce.

Los afloramientos de arenisca sujetos a mojaduras por salpicadura de agua de mar y lluvia y secado posterior muestran agujeros y toman el aspecto de una colmena a medida que los granos de arena se aflojan por la descomposición del material que los mantenía unidos por cementación. Otras formaciones rocosas de grano fino, tales como piedra de arcilla, de fango, pizarras, esquistos, filitas y basaltos, están sujetos a similar descomposición superficial y efectos de intemperismo (= meteorización). Este tipo de intemperismo no es efectivo a niveles más bajos, donde las formaciones rocosas están permanentemente saturadas con agua de mar, y donde la acción de las olas lava al material de desintegración arriba de un cierto nivel, dejando gradualmente desnuda una plataforma que coincide con el nivel superior de saturación permanente. Los charcos y canales en la superficie de la plataforma se agrandan e integran a medida que sus bordes suspendidos retroceden y gradualmente la superficie de la roca es descascarada o pelada hacia abajo hasta un nivel que permanece intacto debido a que está permanentemente saturado.

El proceso ha sido descrito como "intemperismo de la capa de agua" y como el nivel de saturación no necesita coincidir con los planos de estratificación, ofrece un mecanismo que podría generar el aplanamiento de la costa, formando plataformas que pueden transgredir las estructuras geológicas locales.

El intemperismo de la capa de agua explica muchos aspectos de las plataformas de abrasión, aunque no puede explicar la razón de ellas enteramente. Se necesita una ocasional actividad de olas de tormenta para barrer el material de roca desintegrado y para atacar y rejuvenecer la base del acantilado en la parte de atrás de estas plataformas. En sectores de la costa extremadamente protegidos es posible que el material meteorizado no sea extraído lo suficiente como para permitir el desarrollo de la plataforma de playa de pleamar y en sectores expuestos a muy frecuentes tormentas, es posible que la abrasión sea lo suficientemente rápida como para destruir la plataforma de playa de pleamar tan pronto como la remoción del material meteorizado la deja desnuda. El ancho de esta plataforma está determinado por las tasas relativas de la recesión del acantilado (por remoción del material meteorizado y abrasión ocasio-

nal de la ola de tormenta) y el margen frontal (por más continua acción de las olas en roca permanentemente saturada y no meteorizada).

#### 4.1.4 Casos de meteorización en Las Grutas

**Hidroclastismo:** se refiere a los procesos de humedecimiento y secado de las rocas.

Las partículas de agua son atraídas por las superficies minerales, produciendo una fuerza expansiva que escama las rocas. Cuanto mayor es la alternancia de humedecimiento (lluvia, rocío) y secado (temperatura y viento) mayor es la efectividad.

La desintegración se manifiesta por la descamación superficial y fracturación de la roca, preferentemente a lo largo de planos de debilidad.

La descamación se interpreta por la polaridad que tienen las moléculas de agua, las que son atraídas por la polaridad que tienen las diferentes moléculas de los minerales, haciendo que en la superficie de éstos se produzca una fuerza expansiva que separa las superficies confinadas.

El agua en los desiertos se manifiesta por lluvia, rocío y niebla, lo que da el humedecimiento y secado.

Las rocas situadas a la sombra se meteorizarán menos que las que se sitúan en las laderas de solanas. En la Fig. 15 puede observarse cómo los materiales meteorizados han caído en la base del acantilado y todavía no han sido removidos por las mareas. Significa que estos materiales representan los sedimentos desprendidos del acantilado en un período de unas 12 hs. (entre pleamares).

**Haloclastismo:** se refiere a los esfuerzos producidos por la cristalización de sales en grietas, poros y otras superficies, que dan lugar a expansiones volumétricas. Existe una serie de factores que condicionan la mayor o menor influencia de este proceso, entre las que podemos citar:

El clima: amplitud de la Temperatura y Humedad diaria y estacional.

El viento: velocidad, temperatura del aire y contenido de humedad.

Tipos de rocas: es importante conocer las condiciones de porosidad y permeabilidad de las rocas. Las areniscas y calizas son más vulnerables que las ígneas y metamórficas.

Tipos de sales: las más comunes son los cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos. Algunos tienen una efectividad mucho más importante que otros, como por ejemplo los sulfatos de sodio y los sulfatos de magnesio.

Por otro lado, la hidratación de determinadas sales produce el aumento de volumen y con ello una importante acción haloclástica.

En resumen, los procesos físicoquímicos más importantes son: crecimiento de cristales, expansión y contracción térmica, e hidratación.

En los acantilados de Las Grutas puede observarse que se encuentran dos tipos de precipitación de sales sobre los acantilados, de manera pulverulenta y en forma de costra (Figuras 18 y 19 30). En los lugares no sometidos a "descarga de agua" la forma pulverulenta es la más observada, caracterizada por la presencia de una fina capa de material pulverulento, friable, que provendría tanto de la precipitación de sales de la roca huésped, como del agua de mar salpicada sobre los acantilados y luego precipitada, ayudando a su lenta desintegración.

Otra forma de precipitación se observa en los sectores donde hay afloramientos permanentes de agua. En estos casos se ha formado una capa continua, resistente, de 1 a 5 mm de espesor de sales (Yeso), que le confiere al acantilado una resistencia y protección contra los procesos exógenos (acción marina y meteorización).

Estos precipitados se presentan de manera muy irregular y pueden apreciarse pequeños cristales con forma de roseta de yeso y otros con una forma más regular, mayor suavidad, y combinada con una mayor participación de algas, que le dan un color verdoso.

En la base de los acantilados, allí donde el mar golpea regularmente no se observa ninguno de estos precipi-

tados, ya que probablemente el mar los vaya retirando a medida que se forman. Sí es común observar, probablemente debido al fortalecimiento estructural de la roca por la precipitación de sales y el permanente estado de saturación, formas columnares que sobresalen de las "medias cañas" que suelen observarse en el Horizonte A, con marcada erosión diferencial asociada a septos a algas y musgos. (Fig. 16).

#### 4.1.5 Biometeorización

Las cubiertas de musgos observables en amplias zonas de los acantilados dan lugar a procesos de biometeorización. La biometeorización por musgos está asociada principalmente al escurrimiento de agua subterránea sobre la pared del acantilado y de las cuevas y grutas. Los musgos tienen una doble acción. Durante el período en que se mantienen fijados a la roca reducen la acción abrasiva e hidráulica de las olas. Esto se evidencia en la erosión diferencial del estrato A descrita en la sección 4.1.4, que se observa en algunos sectores (Fig. 15). Los segmentos cubiertos por musgos resisten más a la abrasión que los segmentos contiguos desnudos, los cuales muestran una mayor concavidad en la media caña de erosión del pie del talud. Sin embargo, el mismo proceso de fijación de "costras" de musgo altera el sustrato debilitándolo por acción de los subproductos del metabolismo. Gradualmente estas costras se desprenden arrastrando con ellas porciones de la roca y dejando parches desnudos que son más susceptibles a la acción abrasiva de las olas. (Fig. 31).

Aparte de los procesos de meteorización mencionados precedentemente, debemos agregar la acción física que producen las raíces de las plantas sobre las rocas de la Fm Bajo del Gualicho, ya que pueden observarse cómo éstas han crecido dentro de las diaclasas, conservando en la actualidad parte del sistema radicular y la forma aplanada según el plano de las diaclasas. (Fig. 32).

#### 4.1.6 Acción hidráulica

Las aguas que circulan por los sedimentos marinos de la Fm Bajo del Gualicho y que afloran en forma de manantiales en los acantilados, producen procesos de disolución y precipitación. Dado el importante contenido

en yeso que estos sedimentos poseen, y en función de la permeabilidad de la estructura lenticular y ondúlrica, (especialmente en el Horizonte B1) y la textura arena – arcilla, constituyen importantes secciones para que los filetes del flujo subterráneo concentren su escurrimiento.

Es común observar, fundamentalmente en las playas del centro, un piso constituido por el contacto de las secciones A y B y un techo muy ondulante.

En los sectores sometidos a una continua descarga de agua subterránea puede observarse una importante precipitación de yeso en rosetas.

Evidentemente el escurrimiento subterráneo del agua produce a lo largo de su circulación la disolución del yeso intersticial, y una vez llegado al frente del acantilado, al cambiar las condiciones físicas y químicas, nuevamente se produce la precipitación de éste en forma de rosetas.

#### 4.1.7 Acción marina

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

La abrasión del Horizonte A, en forma de media caña, también evidente en bloques sueltos principalmente en el sector I, indica que este mecanismo es fundamental en el socavamiento de la base del acantilado.

Existen varios factores que influyen sobre los efectos que producen las olas sobre la costa:

- El tipo y dureza de las rocas.
- Características estructurales (diaclasamiento, fallamiento, estratificación) de las rocas.
- Estabilidad de la línea de costa.
- Exposición a la acción de las olas.
- Profundidad del agua en la zona de costa.
- Abundancia y tamaño de los materiales.

La erosión marina es más efectiva donde existen materiales abundantes para ser utilizados por el mar para realizar la abrasión (arena y grava). Este “ame-trallamiento” de los acantilados constituye uno de los procesos más efectivos de erosión (Fig. 21), y se ve materializado no sólo por la forma de media caña que muestran acantilados y bloques en la playa (a y c), sino también en la presencia de marmitas (b) y canales sinuosos en la plataforma de abrasión y base de las cavernas (c).

El golpe de la ola, fundamentalmente en rocas con superficies de discontinuidades (fallas, diaclasas, superficies de estratificación) ejerce una gran presión. La enorme fuerza ejercida por las olas sobre los acantilados (30.000 kg/m<sup>2</sup> en las costas escocesas) produce la compresión del aire repentinamente, comportándose como si se clavara una cuña. Cuando éstas retroceden, se produce una expansión súbita del aire con una fuerza explosiva provocando el debilitamiento de la roca y el desprendimiento paulatino de las capas. La caída de éstas va produciendo el agrandamiento y unión de las cavidades hasta llegar a las cavernas tan conocidas, procesos estos que continúan en ellas.

El patrón de desarrollo de cavernas marca la importancia de la acción del oleaje en la erosión del acantilado. Por un lado es notorio que la mayoría de las cavernas se desarrolla a la altura del golpe de ola y en la franja de mareas altas. Esta relación positiva entre el tamaño de las cavernas y la cota de la base del acantilado respecto de las mareas altas, hace más efectiva la acción de la presión hidráulica del oleaje y expansión súbita del aire sobre las oquedades y discontinuidades del acantilado.

Las diaclasas constituyen superficies de debilidad muy frecuentes en los acantilados de Las Grutas, muchas veces no claramente observables por los precipitados que cubren la mayor parte de la superficie. Sin embargo, pueden observarse diaclasas verticales que recorren todo el acantilado, pero solamente en la base, donde es embestido regularmente por las olas, éstas muestran un ensanchamiento que rápidamente desaparece, donde este proceso no se desarrolla o lo hace de mane-a menos regular.

#### 4.1.8 Mecanismos de formación de las cavernas

Partiendo de una situación de acantilado con pendiente vertical y de litología homogénea en cada uno de los diferentes horizontes, se pueden observar dos mecanismos claramente diferenciados en la formación de cavernas.

En el primer caso, la meteorización y la acción marina constituyen en la etapa inicial un rol fundamental sobre el Horizonte A, especialmente cuando el horizonte suprayacente sólo es alcanzado por las mayores olas y mareas. La acción de estos procesos produce la formación de pequeñas entradas en la roca de no más de 20 a 40 cm de profundidad de forma semiesférica o media caña (fig. 24). A medida que esta concavidad va aumentando su tamaño intersecta la base de el Horizonte B2, que debido a su gran estratificación es más sensible a la meteorización y a la acción del oleaje, degradándose más rápidamente que el Horizonte A. A partir de este punto la caverna se desarrolla sobre el horizonte B y parcialmente en la parte emergida de la Horizonte A. En la medida en que la caverna se va desarrollando sobre el horizonte B, la morfología el horizonte A cambia de cóncava a convexa reduciendo la fricción sobre A y concentrándose sobre la vulnerable B1, produciendo sobre este sector el desarrollo de la parte más profunda de la caverna, que se va acuñando hacia el fondo.

El segundo caso es más frecuente donde el Horizonte B está a la altura del golpe de la ola durante una alta proporción del ciclo de mareas (fig. 25). La debilidad intrínseca del contacto entre los horizontes A y B facilita la acción hidráulica de las olas directamente sobre el Horizonte B, más vulnerable debido a sus características estructurales. En la etapa inicial, la presión hidráulica aumenta el tamaño de las óndulas de la estructura lenticular y ondulítica primaria. A partir de este aumento, las pequeñas oquedades se van uniendo unas a otras aumentando significativamente su tamaño hasta consolidar una caverna de varios metros cúbicos de volumen. Al mismo tiempo, el Horizonte A va siendo erosionado por abrasión, acompañando parcialmente la profundización de la caverna generada en el Horizonte B.

Cabe destacar que la existencia de cavernas es síntoma de una estabilidad relativa del macizo rocoso sobre el que estas se generan. Aunque este concepto resulte

contra intuitivo, debe considerarse que sectores con litologías similares, como los sectores I y III, reaccionan en forma diferente a similares procesos erosivos, y que esta respuesta diferencial es función directa del grado de cohesión del sedimento. Mientras el sector I retrocede en forma lineal y sin formación de cavernas, generando un acantilado vertical, el sector II se desarrolla sobre una saliente hacia el mar (indicador de mayor resistencia a las olas) y es donde se observa el mayor desarrollo de grutas. Esto indica que el sedimento del sector II posee una cohesión mayor que el sector I, de lo contrario la estructura no soportaría cavernas y se derrumbaría en forma pareja. Una hipótesis plausible, (aunque provisoria y que debe ser testada con ensayos de suelo) es que el nivel de humedad actual del sedimento otorga al sector I un nivel de consolidación diferencial con respecto a sectores sin agua intersticial, reduciendo los procesos de meteorización física, especialmente la formación de grietas o diaclasas.

El segundo caso es más frecuente en el sector II, y da lugar a las cavernas de mayores dimensiones, por razones explicadas más arriba. El caso 1 está asociado a cavernas de pequeño porte y es más frecuente a lo largo del sector II.

Los dos casos tienen como etapa final el desmoronamiento de toda la caverna, quedando el acantilado vertical proclive al reinicio de los procesos ya enunciados precedentemente.

#### 4.1.9 Topografía y relación con olas y mareas

La figura 26 muestra un perfil longitudinal del pie del acantilado. Este perfil nos permite explicar en buena medida la variación espacial de los procesos erosivos - acumulativos a lo largo del sector costero de Las Grutas.

Pueden identificarse cuatro secciones con características homogéneas:

- La sección I, ubicada desde la Bajada de La Rueda hasta La Rinconada.
- La sección II, entre la Bajada de La Rueda y la Bajada 1.
- La sección III desde la Bajada 1 hasta la Bajada 3.
- La sección IV desde la Bajada 3 hasta el cañadón sur.

El gráfico refleja la variación de los parámetros considerados importantes en la dinámica geomorfológica en la localidad de Las Grutas: la altura del pie del acantilado y la inclinación del principal plano de escurrimiento (el contacto entre los horizontes A y B). La diferencia de cota entre el pie del acantilado (línea negra) y el plano principal de escurrimiento (línea roja) indica la altura del techo del Horizonte A, es decir, el grado de exposición del mismo a olas y corrientes.

En la sección II el pie del acantilado se encuentra a menor elevación que en las secciones restantes, con cotas que varían entre 2 m y 2,60 m, y a unos 2 m por encima del NMM. En este sector el plano de escurrimiento se encuentra a aproximadamente la altura del promedio de mareas altas y el Horizonte A queda expuesto entre 1,5 y 2 metros.

El gráfico muestra que en la Sección II las mareas altas actúan diariamente sobre el Horizonte A y que los primeros 2 m del Horizonte B son afectados por olas y mareas con mucha más frecuencia que en los sectores Sur y Norte. O dicho de otra manera: en la Sección II el contacto entre los horizontes A y B, altamente friable por efecto de disolución y por la presión hidráulica del agua de escurrimiento, es diariamente atacado por las olas, mientras que en otros sectores este mismo contacto es atacado sólo durante mareas mayores. Así, la menor altura de todo este sector aumenta la vulnerabilidad del contacto A-B y de la parte inferior del Horizonte B el cual es atacado por olas de mayor amplitud, y por más tiempo en cada ciclo de mareas que en los otros sectores.

La sección I es la que se encuentra a mayor altura con respecto al nivel del mar. En este sector, el borde del acantilado no es afectado por la mayoría de las mareas altas diarias, tan sólo por las mareas más altas y aquellas generadas durante las tormentas. Aunque en este sector las olas de tormenta socavan periódicamente el pie del acantilado, lo hacen sólo durante un breve tiempo antes y después de la marea alta. Sin embargo, la acción de las olas, aunque breve, es energética y actúa principalmente sobre el Horizonte B, más friable que A, socavando el pie del acantilado y generando inestabilidad y diaclasas que se ven aumentadas y favorecidas por el desarrollo vertical del acantilado que llega a los 15 metros de altura. La caída vertical es el tipo de remoción en masa característico de este sector.

En la Sección III el Horizonte A queda expuesto entre 30 y 80 cm aproximadamente. El contacto entre los horizontes A y B es afectado por las mareas altas y queda sumergido sólo en contadas oportunidades durante las máximas mareas. Las olas actúan sobre este sector en menor proporción que en el sector de la bajadas 0 a 1, pero claramente con más frecuencia que en el Sector Norte. A lo largo del plano de escurrimiento se observan oquedades y cárcavas de pequeño tamaño, no mayor a dos metros de ancho y un metro de alto con profundidades menores a un metro. Las olas llegan al pie del acantilado con poca energía, pero suficiente para producir una erosión en media caña sobre la sección expuesta del Estrato A. Este tipo de erosión genera inestabilidad en las secciones superiores del acantilado, produciendo diaclasas sobre el Horizonte B.

Como se dijo en la sección más arriba la superficie de contacto entre el Horizonte A y el Horizonte B constituye el principal plano de escurrimiento de agua subsuperficial en toda el área de Las Grutas. Debe tenerse en cuenta que en la mayoría de los acantilados los contactos entre rocas de diferente tipo son generalmente las líneas más susceptibles de erosión. Dado que en buena parte del frente costero de Las Grutas (Secciones II y III) este contacto coincide con el rango de altura de las mareas altas (máximas y promedio), su inherente susceptibilidad genera condiciones favorables para un aumento del efecto erosivo del acantilado por efecto de las olas. Su afloramiento genera una línea de debilidad, donde se producen oquedades que ante el impacto de las olas se transforman en cuevas y grutas de diversos tamaños.

Este contacto sólo aflora estacionalmente en la Sección IV y la Sección I, permaneciendo enterrado tanto hacia el norte como hacia el sur del frente urbano costero de Las Grutas.

El gráfico muestra una marcada inclinación del contacto A/B hacia el sector de grandes cavernas con una pendiente aproximada de entre 10 y 16 cm cada 100 m.

En función de este buzamiento un alto porcentaje del flujo subterráneo se dirige hacia el Sector II, lo que se manifiesta en un flujo constante de agua en la zona de cavernas del Sector Central, especialmente evidente en las filtraciones y goteos permanentes de los techos de las grandes cavernas. La comparación de la situación ac-

tual con fotos históricas de 1969 revela que si bien hace cuarenta años el Horizonte B1 se mantenía relativamente humectado, no se observaba el flujo permanente de agua en forma de canales de escurrimiento que son fácilmente observables en la actualidad.

La acumulación de agua tiene como resultado el aumento de los procesos de disolución con respecto a zonas vecinas, lo que genera mayor cantidad de oquedades y mayor friabilidad tanto de la parte superior del estrato A como de la parte inferior del estrato B.

El doble efecto de la menor altura del pie del acantilado y de la influencia del agua de escurrimiento subterráneo sobre la formación de cuevas está claramente ejemplificado por los cuatro sectores típicos que se observan a lo largo de la línea de costa.

1. No existen cavernas en la Sección I, donde se dan las cotas más altas del pie del acantilado y donde no se observa escurrimiento subterráneo. El proceso erosivo más importante en esta zona es la remoción en masa por caída vertical de grandes bloques por socavamiento de la base friable del acantilado. Este efecto de socavamiento es esporádico y se da sólo en condiciones de tormenta con mareas altas. Se observan diaclasas y fracturas importantes, y grandes bloques sobre la playa como testigos de la erosión reciente.
2. Las cavernas de mayor desarrollo se presentan en la Sección II, tramo de las menores cotas y de mayor acumulación de agua de infiltración. Estas cavernas se desarrollan fuertemente sobre el estrato A (más expuesto a la acción del oleaje que en otros sectores), y se extienden verticalmente hacia todo el estrato B (que en este sector se encuentra más afectado por agua de infiltración). Los techos de las cavernas son afectados directamente por las olas mayores en marea alta, con lo cual las cavernas se desarrollan dentro del rango de influencia de las mayores olas y mareas.
3. En la Sección III, donde las cotas aumentan gradualmente hacia el sur, no existen cavernas de gran desarrollo. Se observan cavernas en formación de pequeño porte siempre con base en el Estrato A y desarrollándose desde 1 hasta 1.5 m sobre el Estrato B.
4. En la Sección IV no se observan cavernas, sólo algunas concavidades de no más de 30 cm sobre líneas de debilidad generalmente apoyadas sobre el techo del

Horizonte A. Estas oquedades son producto del efecto de disolución, y si bien su efecto acumulativo genera debilidad del acantilado a largo plazo, el hecho de que las olas las afecten sólo circunstancialmente hace que el proceso de retroceso del acantilado sea más lento y no se favorezca la formación de cavernas ni grandes diaclasas.

#### 4.1.10 Estabilidad de la playa

Tal como puede observarse en la Fig. 12, las acumulaciones de playa se presentan de modo diferente según el sector. Donde existen acumulaciones de sedimentos, en algunos lugares de gran extensión, éstas juegan un papel importante en la atenuación de la energía de olas incidentes, especialmente aquellas asociadas a ondas de tormenta. Las ondas de tormenta (v. 1.2.2) pueden causar la removilización de sedimentos dejando al descubierto masas rocosas y ausencia de arena en la playa. Sin embargo, tal como se pudo observar durante la severa tormenta de julio de 2009, la playa recuperó su nivel normal en menos de tres meses (fig. 27). Esto sugeriría que el mayor problema local se debe a los procesos que interesan directamente al acantilado y no en medida significativa al balance de sedimentos litorales.

#### Propuestas de manejo del frente costero

El conocimiento de los factores locales que inhiben o generan los procesos erosivos en los acantilados de Las Grutas, nos permite establecer una guía para las acciones de control y manejo más adecuado para cada sector.

Dividiremos a las acciones de manejo y control en tres grandes grupos:

1. Acciones sobre el acantilado.
2. Acciones sobre el escurrimiento superficial y subsuperficial.
3. Acciones de manejo urbano.
4. Acciones sobre el cordón medanoso.

Propondremos planes de manejo particularizados para cada uno de los diferentes sectores costeros identificados anteriormente.

## 4.2 Acciones sobre los acantilados

Las acciones propuestas tienden a reducir los impactos de los procesos sub-aéreos que configuran la morfología del acantilado y los efectos erosivos de la acción específica del mar.

Las acciones sobre los acantilados tienen como objetivo retardar el proceso natural de retroceso del acantilado y reducir el riesgo a las personas derivados del colapso impredecible de bloques, mediante dos tipos de acciones:

- a) Reducir la exposición del pie del acantilado a la acción del oleaje.
- b) Estabilizar la parte superior del acantilado.

Dependiendo de las condiciones del acantilado, estas acciones pueden ser abordadas en conjunto o en forma separada.

### 4.2.1 Estabilización del acantilado

#### 4.2.1.1 Estabilización de pendientes de la parte superior

La erosión de la base del acantilado genera un desequilibrio en la parte superior y un aumento de las pendientes con la consecuencia de generar derrubios desde la sección superior de los horizontes B, C y de los depósitos más modernos, compuestos de bloques fracturados, cantos rodados y clastos sueltos. Al erosionarse la base del acantilado, la parte superior ejerce una presión sobre las capas intermedias que tiende a diaclasarlas. La apertura de las diaclasas, a su vez, se ve aumentada por efecto de tormentas y escurrimiento, y genera caídas de grandes bloques coincidentes con eventos extremos o posteriores a ellos. Estos colapsos son difíciles de predecir y constituyen un riesgo que puede ser reducido eliminando carga estática de la parte superior.

Una medida que puede ayudar a estabilizar sectores del acantilado, reducir las cargas estáticas sobre el frente y en forma consecuente reducir la frecuencia de caídas de clastos y colapso de bloques, es la reducción de la pen-

diente de la parte superior del acantilado. Un efecto concomitante con la reducción de la pendiente es la estabilización del Horizonte B2 que está altamente estructurado y diaclasado.

La estabilización de la pendiente superior implica un conjunto de acciones geotécnicas y urbanísticas, ya que requiere ampliar el espacio libre entre el frente del acantilado y las obras urbanas.

La reducción de la pendiente deberá efectuarse movilizándolo aquellos sectores cuspidales del acantilado que se encuentren muy estructurados, diaclasados, o con pendientes inestables. Se presentan dos situaciones típicas para la estabilización de la pendiente.

En el primer caso, el sector a estabilizar corresponde exclusivamente al horizonte litológico superior. En esta situación la pendiente final será continua. (Figura 28 - Caso A).

En el segundo caso la sección a estabilizar está constituida por dos o más estratos bien identificables. En estos casos se procederá a aterrazar la parte superior del acantilado respetando las pendientes de estabilidad de cada uno de los estratos (figura 28 - Caso B). El Sector II ofrece un ejemplo natural de aterramiento por estratos el cual debería ser imitado en los casos en que sea necesario corregir sectores similares. (Fig. 29).

En todos los casos los materiales removidos de la parte superior deberán ser dejados en la base del acantilado. Esto proveerá a la playa con material temporario que servirá para reducir el impacto de tormentas por reducción de los efectos del oleaje sobre el pie del acantilado.

Las obras de estabilización deberán ejecutarse de manera de remover grandes bloques en lugar de sedimento suelto o pequeños clastos. Los grandes bloques al pie del acantilado se mantienen durante largo tiempo y favorecen la acumulación de sedimento durante los períodos de calma. Estos bloques favorecerán la acumulación de arena, elevando localmente el nivel de la playa durante los períodos entre tormentas. Este efecto se observa en todos aquellos lugares donde los bloques caídos fueron dejados in situ, con aumentos puntuales del nivel de playa de entre 50 cm y 1.5 m.

La acumulación gradual de arena protege a la base del acantilado al reducir el impacto directo de las olas durante las grandes tormentas. La energía disipada en el rozamiento con la arena y en el movimiento de la arena reduce la energía de ola total sobre el acantilado. La arena acumulada durante los períodos de relativa calma se pierde (o se sacrifica) durante la tormenta para luego reconstituirse en forma natural.

Cuando sea posible, deberá preferirse el aterramiento por estratos a la delineación de una pendiente continua.

#### 4.2.1.1.1 Criterios de decisión para el suavizado de pendiente.

La decisión de suavizar o no la parte superior del acantilado deberá tomarse en base a un análisis sector por sector considerando tres factores fundamentales: la altura del acantilado, el grado de estructuración y diaclasamiento y el grado de pendiente.

El proceso de decisión constará de tres pasos (Ver diagrama general de decisión en Fig. 30).

##### **Paso 1: Analizar altura del acantilado.**

Se recomienda intervenir solamente en casos en que el acantilado supere los 3 metros. En acantilados de menos de tres metros se mantendrá el monitoreo periódico y cuando fuere necesario se procederá a la remoción de clastos sueltos.

##### **Paso 2: Analizar el nivel de estructuración y diaclasamiento cruzado**

Se recomienda actuar en casos donde el nivel de diaclasamiento sea 2 o 3 según lo indicado en la Tabla 9. Con pendientes 1 o 0 deberá mantenerse el monitoreo en forma periódica

##### **Paso 3: Analizar pendientes.**

En casos de pendientes suaves (menores a 30°) se recomienda remover clastos sueltos y mantener el monitoreo.

En caso de pendientes altas (mayores a 30°), en acantilados de más de 3 metros y con diaclasas se procederá al suavizado de pendiente.

En caso de pendientes negativas se procederá al suavizado independientemente de la presencia o no de diaclasas.

#### 4.2.1.2 Estabilización del frente del acantilado

El mayor riesgo para personas está dado por la caída de grandes bloques del frente del acantilado.

Los desprendimientos de grandes bloques son difíciles de predecir en forma puntual pero a nivel general puede reducirse el riesgo con un manejo sistemático del frente del acantilado que consista en: monitoreo permanente y derrumbes controlados.

Los mayores riesgos de accidentes por caídas de bloques se dan entre las bajadas 1 y 3 y entre la bajada de La Rueda y La Rinconada. Si bien la Sección III es la de mayor afluencia de bañistas, la Sección I presenta grandes diaclasas en acantilados de gran desarrollo vertical.

Se propone un programa de derrumbes controlados en los sectores donde se observan diaclasas activas y bloques en riesgo de caer. La modificación debería permitir obtener bloques de gran tamaño que luego serán dejados en su posición de caída sobre la playa al pie del acantilado.

**Tabla 11. Esquema de clasificación del nivel de diaclasamiento**

Nivel	Descripción
0	Horizonte masivo, sin diaclasas o con diaclasas escasas, de corta extensión y poco profundas.
1	Presencia de diaclasas pero mayormente de poca profundidad, aisladas y sin cruzamiento. Sin evidencia de formación de bloques.
2	Presencia de diaclasas entrecruzadas, bloques bien definidos.
3	Muy estructurado y/o diaclasados con bloque semidesprendidos y evidencia de derrumbes recientes.

El programa de derrumbe controlado tendrá como beneficios:

1. Reducir el riesgo de caída imprevista de grandes bloques.
2. Suavizar el perfil del acantilado dándole mayor estabilidad, y reduciendo la formación de nuevas diaclasas.
3. Reducir la energía de ola que afecta a la base del acantilado durante las tormentas, retardando el retroceso del acantilado.

#### 4.2.1.3 Protección del pie del acantilado

El método más común empleado para evitar el retroceso de los acantilados consiste en la construcción de muros y enripiados (sea walls, rip-rap). Sin embargo, desde hace 30 años estos sistemas han sido objeto de severas críticas y su efectividad está cuestionada en todo el mundo. Las obras duras paralelas a la costa generan pérdida de playa por reflexión de olas con socavamiento de la base de la estructura, intensificación de la erosión al final del enripiado y eventualmente una renovación del proceso erosivo sobre el acantilado. Si se suma a esto el costo de las estructuras y el efecto negativo y permanente sobre el carácter paisajístico del lugar, se entiende que estos sistemas sean desaconsejados en la mayoría de los casos.

Si bien las obras duras fueron la opción preferida para el control de erosión hasta inicios de los años 90, la tendencia actual a nivel mundial en manejo costero tiende a soluciones blandas, a acciones de manejo y regulación territorial y en muchos casos se acepta que “no hacer nada” es una opción viable cuando se considera la incertidumbre respecto a la evolución de los sistemas costeros como respuesta a los efectos del cambio global.

Las acciones de protección del pie del acantilado en Las Grutas deberían limitarse a mantener *in situ* los bloques caídos naturalmente o por caídas controladas. Cuando se considere necesario y en los casos en que no existan caídas de ningún tipo y no haya acumulaciones de playa, se aconseja movilizar algunos de los bloques que se encuentran sobre la restinga frente a la Sección I y a distancias superiores a 50 m del acantilado.

#### 4.2.1.4 Acciones sobre las grutas y cavernas

En el interior de las cavernas más importantes, deberán profundizarse las actividades de detección de niveles litológicos inestables. De observarse sectores con riesgo de sufrir desplomes, deberán instrumentarse acciones para impedir a los turistas su ingreso y adoptarse las medidas necesarias para provocar derrumbes controlados.

#### 4.2.1.5 Monitoreo

##### 4.2.1.5.1 Objetivo

El objetivo del monitoreo es identificar y clasificar bloques y diaclasas que supongan un riesgo para las personas, para priorizar las acciones de estabilización. Los resultados del monitoreo deben constituirse en un registro histórico que permita evaluar periódicamente la efectividad de las acciones y la evolución del acantilado.

##### 4.2.1.5.2 Datos a relevar

El monitoreo consistirá en las siguientes actividades: Recorrida del frente costero registrando la ubicación GPS de las diaclasas/bloques con potencialidad de colapso. En los meses de marzo a noviembre se efectuará una recorrida cada 4 meses. Durante los meses de diciembre a febrero las recorridas se harán cada 15 días. Independientemente de esta frecuencia de monitoreo deberá hacerse una nueva recorrida inmediatamente después de cada evento extremo (precipitaciones torrenciales, grandes olas asociadas a grandes maraes, vientos de costa muy fuertes) a fin de evaluar problemáticas surgidas como consecuencia de estas.

Sobre las diaclasas y bloques identificados se tomarán los siguientes datos:

- Posición geográfica (medida con GPS) de las diaclasas o bloques.
- Se tomarán fotografías de frente y de costado de los sectores bajo observación. En las fotos deberá incluirse un elemento de escala (moneda, martillo, jalón, regla graduada, etc.).
- Nivel de diaclasamiento según la Tabla 11.

- Se medirán las dimensiones de las diaclasas y bloques: longitud, amplitud de la diaclasa, ancho, largo y alto del bloque.

En forma complementaria, se registrarán:

- Parámetros de tormentas anteriores al relevamiento.
- Perfiles de playa.
- Fotografías de playa.
- Movimientos de bloques sobre la playa o plataforma de abrasión o desprendimientos de bloques desde el acantilado.
- Notas sobre la movilización de bloques u observaciones de desprendimientos recientes.

#### 4.2.1.5.3 Informes y archivo de la información

Además de constituir un elemento fundamental para la toma de decisiones, el monitoreo debe servir para mejorar el conocimiento sobre la dinámica general de los acantilados. La información recogida constituirá una base de datos de gran valor para estudios de detalle posteriores. Por esto, los datos recogidos y los informes realizados deben resguardarse adecuadamente como referencias para toma de decisiones e investigaciones futuras.

Tras cada relevamiento se efectuará un informe en el que se describirán:

- Los datos recolectados.
- Cambios observados en la situación de riesgo de cada sector (por ejemplo, cambios en el nivel de diaclasamiento, observación de nuevos riesgos, caídas recientes incluyendo dimensiones de los bloques, carcavamientos por escorrentía, pérdida de playa, movilización de bloques en la playa o plataforma de abrasión).

Los datos de cada relevamiento se almacenarán en soporte informático duradero. Además de su archivo (según las prácticas corrientes en la Municipalidad de San Antonio Oeste) se entregará una copia a la Biblioteca de la Ciudad y a los grupos de interés público que lo soliciten. Esto permitirá que se divulguen de los datos y que se mantengan para estudios de evolución del frente del acantilado.

Cada vez que se efectúe una caída controlada, se realizará la verificación según las indicaciones ut supra, atendiendo a: dimensiones del bloque caído, método usado, situación del acantilado y presencia de nuevas diaclasas después de la caída.

## 4.3 Manejo del agua de escurrimiento

### 4.3.1 Subterráneo

En función de los antecedentes fotográficos, la cantidad y componentes químicos y bacteriológicos de las aguas surgentes de los acantilados, se desprende que si bien históricamente se presentaban grados importantes de humedad, la misma ha aumentado en los últimos 40 años. En la actualidad gran parte de la misma tiene origen antrópico, y se genera por deficiencias en las cañerías (de agua potable y de cloacas) o por el inadecuado sellado de los pozos ciegos de las primeras manzanas. En este sentido se recomienda controlar y reparar el sistema de recolección de líquidos cloacales a fin de disminuir la cantidad y la contaminación que en la actualidad se produce sobre la playa.

### 4.3.2 Superficial

Si bien las precipitaciones son escasas, la torrencialidad representa una forma común bajo estos regímenes climáticos. Se deberá establecer distancias mínimas de urbanización en las diferentes líneas de drenaje, controlando su mantenimiento.

Con respecto a los pluviales a la playa, se recomienda disminuir el número, ya que no sólo constituyen elementos visuales perjudiciales, sino que con una tarea de reencauzamiento de las aguas superficiales se podrían evitar carcavamientos innecesarios.

## 4.4 Acciones de manejo urbano

### 4.4.1 Modificación del paseo costanero

Desde el punto de vista urbanístico, se proponen dos medidas:

- Desplazar la ubicación del muro costanero desde su posición actual hasta, por lo menos, el actual cordón de la acera.
- Convertir a toda la calzada entre la bajada 0 y 3 en zona peatonal.

La eliminación del tránsito eliminará cargas estáticas y dinámicas sobre las rocas del acantilado.

La extensión del espacio entre el borde del acantilado y el muro costanero permitirá suavizar la pendiente de la parte superior, reduciendo, a su vez, las cargas estáticas sobre el frente del acantilado.

Se eliminarán también de esta manera los actuales canchales, en los que en recorridos efectuados en invierno y en verano permitió observar gran cantidad de pérdidas de agua de riego con escurrimiento hacia los acantilados.

El perfil modificado deberá ser vegetado con especies adaptadas a condiciones de baja humedad y que no requieran riego artificial. Las raíces de las plantas son efectivas para estabilizar el sedimento, prevenir su erosión y desacelerar la escorrentía, reduciendo la formación de cárcavas y erosión por torrentes. La vegetación implantada deberá mantenerse de manera que no se extienda por el frente del acantilado, para evitar que enmascare diaclasas, reduciendo la efectividad del proceso de monitoreo propuesto anteriormente.

### 4.4.2 Regulación edilicia

Considerar la zona entre la bajada 0 y la bajada 1 como zona de no innovar desde el punto de vista edilicio.

Limitar las nuevas construcciones sobre el frente costero hasta contar con un conocimiento más claro respecto a la evolución del acantilado.

Definir un retiro (*set back*) de al menos 150 metros en zonas a urbanizar en el futuro.

## 4.5 Acciones sobre el cordón medanoso

Las dunas son importantes para la protección de los acantilados, ya que mantienen una cierta compactación de la roca subyacente, evitando los procesos de formación de cárcavas debido a lluvias torrenciales en un clima semiárido. Las dunas evitan que la escorrentía penetre directamente en los acantilados y reducen la posibilidad de generación de grietas y procesos de solubilización de los acantilados. Como se observa en la zona urbanizada de Las Grutas, la eliminación de las dunas puede intensificar la frecuencia y la magnitud de los derrumbes y, consecuentemente, el retroceso de los acantilados.

Dado que las dunas representan ámbitos de interacción entre variables continentales y litorales, son un elemento fundamental para mantener el balance del sistema y constituyen aportes a los sedimentos intermareales. Las dunas proveen servicios ecológicos y son zonas *buffer* (de amortiguación) en procesos que operan en distintas direcciones (horizontal y verticalmente). Su carácter semifijo provee condiciones para su permanencia temporal y favorece la dinámica del sistema. Las acciones que tiendan a modificar esta dinámica, tanto sea fijando los médanos, eliminándolos, alterando su topografía o reduciendo su cubierta vegetal, afectan en mayor o en menor grado sus funciones.

La importancia fundamental del cordón dunar de 900 metros de longitud está dada por su contribución a la diversidad ambiental del área. Al ser el último relicto dunar en la zona, ofrece experiencias y posibilidades diferentes a las que se logran en la sección urbanizada. La diversidad paisajística adquiere un valor intrínseco, especialmente en zonas costeras de neto perfil turístico. La variabilidad ofrece diversas alternativas presentes y a futuro, y su mantenimiento conciente y como resultado de decisiones de manejo racionales sirven para evitar la homogeneización del paisaje que resulta del desarrollo urbanístico y de la presión inmobiliaria impulsada por tendencias temporales, repetición histórica, o aspectos de oferta y demanda de mercado. En el largo plazo, la diversidad aumenta el valor del área, la hace más atrac-

tiva y reduce los impactos ambientales irreversibles del desarrollo urbano.

La degradación del cordón dunar puede derivar en un conjunto de conflictos:

1. Eliminación de lente de agua: es común que los depósitos arenosos eólicos litorales se conviertan en los principales receptores del agua de las precipitaciones.
2. Aumento de la escorrentía: la eliminación de los materiales permeables produce un aumento significativo del escurrimiento superficial. Este proceso lleva por un lado a la generación de cárcavamientos, como así también a la pérdida del agua de las precipitaciones.
3. Alteración de la dinámica litoral: la eliminación de potencial material de alimentación de playas redundará negativamente en el frágil balance de dunas-playas.

Se recomienda, entonces, establecer medidas altamente restrictivas para la modificación del paisaje de médanos al norte y al sur, no solo en función de una preservación paisajística, de la flora y de la fauna, sino también como elemento clave en la disminución del escurrimiento superficial y acumulación de aguas subterráneas.

La Ordenanza 2462 designa al área de médanos al norte de Las Grutas como un área de manejo especial, orientada al desarrollo de emprendimientos hoteleros de gran porte, y restringe específicamente la remoción de sedimentos o alteración del médano en las manzanas 935B, 945, 955, 965B y 965C. La ordenanza indica en sus considerandos las razones principales para esta clasificación:

- Situación singular con grandes manzanas que no están fraccionadas.
- Área de incertidumbre ante la presencia del cordón dunar.
- Mantenimiento y conservación de las dunas que constituye una exigencia a nivel provincial y municipal y también un elemento de la agenda ambiental pública.
- Protección de los médanos y de la zona intermareal como parte de un plan integral orientado al desarrollo de infraestructura turística de alto valor.

Los considerados y la ordenanza resumen aspectos de gestión estratégica fundamentales, que exceden el corto y el mediano plazo, ya que reconocen el carácter único de los médanos de esta sección dentro del contexto más amplio de la urbanización general de Las Grutas. La aceptación de la incertidumbre respecto a su manejo implica que cualquier acción sobre este sector debe estar supeditada a un plan de gestión integrada.

#### 4.5.1 Propuestas de manejo del sistema medanoso

El cordón dunar que aún existe adquiere un valor especial, ya que de alterarse el aspecto natural de la costa será el único segmento que, a través de medidas de gestión ambiental estratégicas adecuadas, mantendrá un carácter natural. Esto puede lograrse mediante dos medidas clave:

1. La preservación cualitativa y cuantitativa del médano existente.
2. El establecimiento de set-backs (zonas de retiro) que impidan una presión de uso creciente sobre el médano.

La eliminación del médano o la habilitación de permisos de construcción cercanos al borde del acantilado darían como resultado, a largo plazo, problemas de erosión y retroceso de los acantilados similares a los observados actualmente. La homogeneización del paisaje costero redundaría, en definitiva, en una pérdida de muchos de los atractivos que hacen de Las Grutas un lugar de excepción entre los balnearios nacionales; el resultado final sería una pérdida gradual e irreversible de la calidad paisajística y ambiental de este tramo de costa y de Las Grutas en su conjunto.

Se proponen, a continuación, algunas medidas de mitigación y manejo para el sector de médanos:

- La instalación de un sistema de enquinchados de baja altura ( $\leq 40$  cm) en las zonas de médano intervenido, paralelos a la línea de costa, de manera que actúen como un sistema de entrapamiento de arena.
- La adopción de medidas de control y vigilancia del médano que impidan la circulación de cualquier tipo de vehículo sobre éste, para acelerar el

proceso de crecimiento y no contribuir a la debilidad del sistema. La existencia de nuevas unidades habitacionales creará presión de uso y circulación sobre la duna expuesta y aplanada.

- La presencia de una zona de fácil acceso crea nuevas oportunidades para que el público se aproxime al acantilado y acceda a los médanos circundantes. Esto debe ser evitado restringiendo físicamente el acceso a la zona afectada a través de empalizadas de altura suficiente para evitar el traspaso. La empalizada puede hacerse con enquinchado, o con otro material a seleccionar.
- Deben asegurarse barreras efectivas para evitar la circulación de vehículos motorizados en el área. Como forma de aprovechar el atractivo natural del área, integrar el contacto de la población con el medio y reconocer la importancia del ecosistema dunar, puede evaluarse la construcción de pasarelas de madera sobre pilotes hasta las cercanías del acantilado, con carteles de interpretación.
- Estas barreras y senderos de circulación, así como los enquinchados, deberán ser discretos, de poca densidad, a fin de no saturar el paisaje local. La autoridad local deberá evaluar su diseño.

## 4.6 Propuesta comunicacional

Las estimaciones del año 2008 indican que en el transcurso del mes de enero visitaron la villa más de 100.000 turistas, lo que revela un número muy alto de concurrentes considerando la limitada superficie de la playa.

Debe considerarse además de esta cifra el efecto que la marea produce sobre la densidad de personas en un área limitada por las zonas de arena como lugar más frecuentado, el cual tiene una extensión máxima de cuatro kilómetros y un ancho máximo de 400 metros.

La presencia del acantilado produce una zona de mayor reparo en las cercanías de su pie. En días soleados muchos visitantes prefieren ubicarse cerca del acantilado en busca de sombra. En días no soleados, pero con viento, los visitantes se ubican allí para repararse del viento oeste.

Durante marea alta, los visitantes que se distribuían en una playa de 200 metros se agrupan en una franja de no más de 20 metros a lo largo del acantilado. Estas conductas resultan en una alta densidad de personas al pie del acantilado y aumenta el riesgo de accidentes por caídas de clastos y bloques. (Fig. 31).

La cartelería existente ha demostrado ser ineficiente para mejorar la percepción del riesgo por parte de los visitantes y, por ende, inefectivos para modificar conductas que aumentan la probabilidad de accidentes. Los carteles, con el mensaje "PELIGRO DERRUMBES", están confeccionados sobre metal con pintura sintética y se encuentran colocados sobre los acantilados a unos 5 metros de altura. Estos carteles son la única estrategia actual para disuadir a los visitantes que se ubiquen cerca del acantilado, y resulta insuficiente para lograr su objetivo (fig. 32) si no están acompañados de una campaña que considere otros elementos que consoliden el mensaje.

El uso de carteles a modo de alarma que se ven desgastados y oxidados, ubicados como etiquetas sobre el paisaje, pueden confundir con una idea de antigüedad, como una señal de otro tiempo.

Por otra parte, la ausencia de una explicación concreta del por qué de ese peligro hace que esa advertencia se vuelva inverosímil y carente de importancia directa.

Para que el usuario advierta los peligros reales, es necesario el armado convencional de un sistema que además de establecer un conjunto de señales directas acerca del lugar, establezca una concientización. El emprendimiento de una señalética cuidada, en todo sentido, comunica también, además de la información necesaria, un acto de presencia por parte de un otro (en este caso, el Municipio) que está presente.

### 4.6.1 Mensajes precautorios

Es conveniente que el contenido precautorio sea agregado al mensaje de un orientador o funcionario municipal que trabaje en la playa propagando diferentes recomendaciones sobre el cuidado del ambiente (residuos, canes, vigilancia de niños, prevención de accidentes, uso del espacio, etcétera).

Se recomienda, asimismo, que los mensajes transmitan firmeza y amabilidad en el rol del contralor que ejerce el Estado Municipal en el bienestar de sus huéspedes.

Además de la mención a las características de la zona y de las ofertas recreativas y culturales locales, deben acentuar la conveniencia de respetar conductas que aseguren una buena temporada de descanso, respetando y haciendo respetar los espacios comunes.

Se recomienda la realización de afiches a ubicar en lugares estratégicos en la vía pública y establecimientos comerciales de la localidad que promuevan la conducta respetuosa entre los turistas y con el entorno.

La prevención sobre la eventual caída de bloques sobre la playa debe destacarse como un hecho posible, pero sin generar una sensación de temor o de desastre inminente. La forma de advertir debe invitar a la reflexión y no limitarse a tonos imperativos o de prohibición.

Advertencias del tipo: “Las rocas de este acantilado no son firmes como aparentan, manténgase y mantenga a los suyos lejos del acantilado” o “Las fracturas que usted puede ver en las rocas indican posibles lugares de desprendimientos, manténgase y mantenga a los suyos lejos del acantilado” serán mejor recibidas y más eficaces que las utilizadas actualmente.

#### 4.6.2 Propuesta de Intervención

Al momento del diseño de las propuestas de prevención, se debe tener en cuenta que aún cuando los visitantes llegan con deseo de descanso, diversión y novedad, el turista suele tener conductas que, en épocas de vacaciones y fuera de su lugar de residencia, tiende a dejar de lado o incluso a violar a conciencia.

Por ello y con la intención de contenerlo en el ambiente que le brinda esta posibilidad de recreación, han de buscarse alternativas que lo hagan partícipe del entorno en que se encuentra con su grupo familiar.

Además de las estrategias referidas a la prevención se deben diseñar otras que procuren incluirlo en el contex-

to en el cual ha decidido pasar ese tiempo de descanso, proveyendo información sobre las características del paisaje, la fauna y la flora.

Esta estrategia de inclusión, además de incorporar una atracción poco frecuente en las planificaciones recreativas de los balnearios, servirá para aliarlo a una política preventiva respecto a las buenas prácticas de convivencia en el balneario.

Se recomienda que exista una variada disponibilidad de información que no solo se refiera a las prohibiciones o a los cuidados a tener en cuenta.

Pueden incluirse aspectos paisajísticos y ambientales que se observen en cada una de las bajadas, referencias a la estructura y tiempos geológicos de la roca de los acantilados, menciones sobre la fauna y la flora que se observa en los alrededores y memorias históricas y antropológicas relacionadas a la villa o a sus proximidades.

#### 4.6.3 Sistema de señalización

El paso de una señalización a una magnitud social, implica la necesidad de un código complejo. La adecuada organización de este conjunto de mensajes, que orientará al usuario en la pronta localización de destinos, usos y servicios, debe efectuarse programadamente mediante un proyecto señalético que contemple la clara comprensión de los polos de interés, ordenando los flujos de circulación e interacción de funciones; para así ubicar el sistema señalético de tal manera que los mensajes encuentren al usuario, dentro de la angularidad fisiológica de la percepción visual del ser humano. En este caso, además de una señalética específica, ubicada en el marco mismo de los acontecimientos (cartelería), se sugiere extender el rango comunicacional hacia elementos que comiencen a circular independientemente (folletería) y afiches en la vía pública, para crear una concientización preventiva e informativa, más allá del punto propio de acción.

El objetivo de un sistema de señalización e información es que dar a conocer a los turistas la información específica del lugar incluyendo sus posibles riesgos.

En este caso, como primer punto, que conozcan el peligro de derrumbe que existe en la zona, por otra parte, la información del lugar, sus corrientes marinas, su conformación, características geológicas, climáticas, biológicas y ecológicas. Se debe regular la información para que exista un equilibrio entre prevención, características del lugar y educación.

La figura 33 presenta un bosquejo del sistema de señalización propuesto.

#### 4.6.3.1 Pautas de comunicación visual

- No debe interrumpir la vista al paisaje ni anteponerse a este.
- Debe ser legible, manteniendo el orden en sus niveles de información, con sus jerarquías propias.
- Debe estar ubicado en un sector estratégico donde llame a ser reconocido y comprendido.
- Tiene que involucrarse como un acento visual del paisaje y no como un recorte del mismo.
- Debe tener la información concreta y específica, a ser plasmada mediante niveles de jerarquía que el receptor pueda asimilar a simple vista.

##### 4.6.3.1.1 Universo tipográfico

Deberán utilizarse los lineamientos básicos institucionales del municipio, para crear la uniformidad institucional. Esto implica la tipografía utilizada por el mismo, gama cromática y sus variables.

##### 4.6.3.1.2 Universo cromático

Debe funcionar como un elemento de continuidad con la gama cromática del lugar, por lo tanto se sugiere el color azul/celeste (mar), el marrón/ocre (entre arena y roca), y el rojo funcionando como acento.

##### 4.6.3.1.3 Diseño de información

Debe contener información clara, precisa y accesible y estar organizado según los diferentes temas a tratar, en diferentes sectores, pero formando un todo armónico y continuo. El espacio no debe saturarse de elementos innecesarios que dificulten la legibilidad y función directa del mensaje. La información se organizará en tres secciones: a) fauna, corrientes, flora, etc., b) ecología y cuidado del medio ambiente, c) precaución y advertencia de derrumbe.

##### 4.6.3.1.4 Materiales

Entre los diversos materiales y soportes, se citan los siguientes:

Cartel con estructura de hierro con lona tensada, aunque este tipo de material necesita mantenimiento, por la sal que da vueltas en el aire que se come el material con el pasar de los años, a mayor velocidad que en una ciudad. A ese hierro habrá que protegerlo con alguna pintura o laca para exterior. La lona aguanta más tiempo y ya se imprimen con protección UV.

Otro material a considerar, es el aluminio, aunque el precio es más elevado. Este material dura para siempre y es más ligero, en carteles grandes el costo será más caro.

Materiales plásticos, tipo PVC, Alto Impacto, Sintra, PVC espumado, *foamboard* o hasta MDF (madera) son útiles en espacios costeros, todos con vinilo impreso con protección UV, montado sobre cualquiera de estos materiales ya mencionados.

Las bases de chapa no son recomendables por el hecho que también necesitarían mantenimiento como las estructuras de hierro.

En este caso, el municipio deberá hacer un balance en cuanto a los recursos propios económicos para deliberar que tipo de material decide utilizar, teniendo en cuenta los costos reales a invertir y que estos se vean obligados a mantenimiento a corto plazo, o prescindir de esto último.

#### 4.6.3.1.5 Instancias de comunicación

Se prevén tres instancias de comunicación:

- a) Corrientes, fauna, flora (informativo).
- b) Peligro de derrumbe (preventivo).
- c) Educación ambiental (educativo).

Si bien se trata de tres niveles claros de información, se sugiere el armado de dos carteles. (Fig. 33).

Informativo: corrientes, fauna, flora.

Preventivo y educativo: dará énfasis al cuidado acerca del peligro de derrumbe. La parte educativa del medio ambiente se plasmará al margen derecho, de un modo sintético.

#### 4.6.3.1.6 Orden jerárquico

La disposición de los carteles seguirá el recorrido de acceso al lugar.

En primera instancia, el visitante será informado acerca de las características generales (mareas, flora, etc.) y ya llegando al ingreso (final de las bajadas que conducen a la playa) será prevenido sobre los peligros y concientizado sobre los cuidados que deben tener, tanto propios como ambientales.





## 5. Conclusiones

- El mecanismo más importante que provoca el retroceso del frente del acantilado radica en la combinación de la acción mecánica de las olas (abrasión y acción hidráulica), la remoción en masa (puntual y esporádica) y la meteorización.
- La magnitud del retroceso del frente de barranca o tasa erosiva según surge de los relevamientos topográficos y fotográficos comparados no arroja valores promedio significativos.
- La inspección y comparación de fotografías aéreas de 1960 y 1997 muestra que los máximos rangos de retroceso se dan entre las bajadas 0 y 1, con valores puntuales máximos de 21 cm/año por desplome del techo de cavernas. (Fig. 34). El resto del frente costero mantiene tasas de retroceso muy bajas y puede considerarse relativamente estable. La bibliografía internacional relaciona, para el caso de costas acantiladas blandas, valores promedio de retroceso según condiciones de clima de olas, que indican, para clima de olas severo entre 1 a 3 m/año, para clima de olas suaves de 0 a 1 m/año. En base a estos parámetros comparativos, puede considerarse que la erosión en los acantilados de Las Grutas es baja.
- La distribución espacial longitudinal de la erosión sobre el frente costero se presenta por sectores y por combinación de formación de cavernas y desplazamientos o deslizamientos del frente del acantilado con distinta intensidad.
- La topografía de la costa y la altura del pie del acantilado, junto con la inclinación del Horizonte A, son los factores que mejor permiten explicar la variabilidad de formas erosivas en el frente costero del área de estudio.
- La acción antrópica más evidente está dada por un aumento del escurrimiento de agua a través de las capas de sedimentos, proveniente de cañerías de agua y/o cloacales en mal estado y de pozos ciegos aún activos. El efecto de este aporte extra al escurrimiento subterráneo natural ha contribuido marginal y puntualmente a la modificación del perfil del acantilado. Sin embargo, un cambio futuro en los caudales o en la calidad de los escurrimientos puede resultar en una disolución mayor y aumentar la tasa de retroceso en algunos puntos. Asimismo, debido al riesgo de contaminación bacteriológica, se recomienda establecer un plan de reparación de los sistemas de captación de líquidos cloacales.
- El carácter paisajístico del frente costero de Las Grutas es único en la costa Argentina y constituye un elemento de primer orden en el valor turístico del lugar. Cualquier acción de estabilización que se realice debe evitar alteraciones importantes al paisaje. Debe evitarse especialmente la introducción de elementos que rigidicen o fijen los acantilados tanto en la parte superior como en su base.
- La eliminación de médanos debe ser evitada como política básica de manejo, principalmente para evitar el carácter contagioso de acciones individuales puntuales, cuyo efecto acumulativo resulta, en general, en la destrucción lenta y generalmente irreversible del sistema dunar.
- La suavización de pendientes de la parte superior del acantilado y las modificaciones urbanísticas de la avenida costanera constituyen las principales medidas de estabilización del acantilado y se consideran necesarias a corto plazo.

- El riesgo a las personas derivado de la caída de clastos o el desmoronamiento del frente del acantilado debe ser reducido a través de un programa continuo de monitoreo y derrumbes controlados. Asimismo, un adecuado sistema de información turística sobre las características de los acantilados, permitirá minimizar aún más los riesgos, determinando un respeto y comprensión del paisaje natural y los procesos que lo conforman.

## 6. Mapas. Gráficos. Fotos

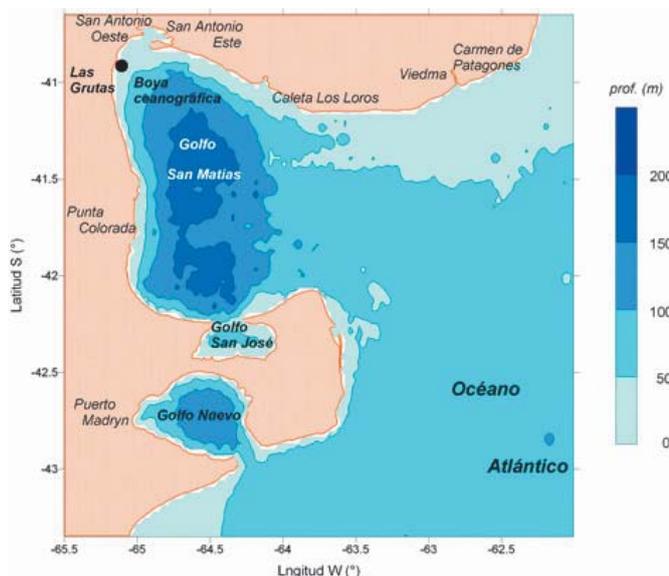


Figura 1. Mapa de ubicación regional.

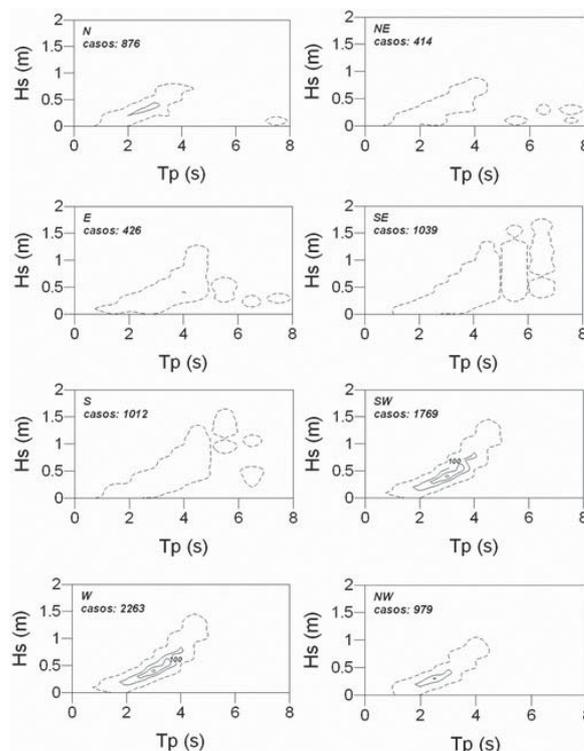


Figura 2. Diagramas bidimensionales direccionales realizados con valores horarios de Hs y Tp para Las Grutas en el año 2000 (fuentes: Dragani et al., 2006; Dragani, 2006,2007).

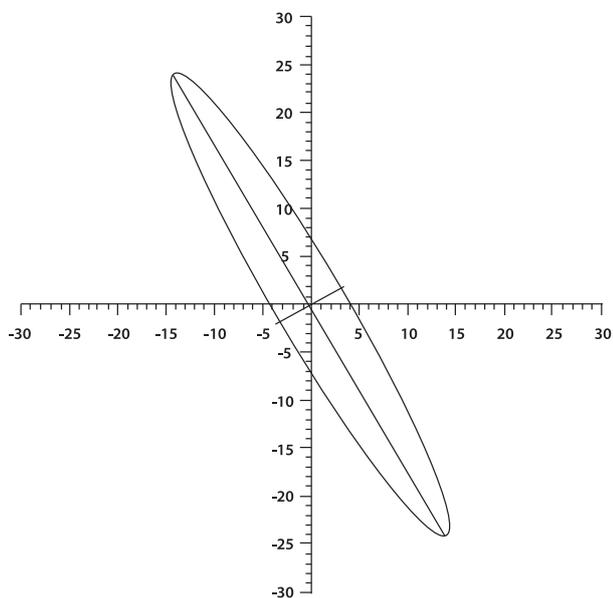


Figura 3. Elipse de corrientes correspondiente a boya Las Grutas. El eje de ordenadas corresponde a la dirección N-S y el de abscisas a la E-W. Las unidades están en cm/s (fuentes: Dragani et al., 2006; Dragani, 2006,2007).

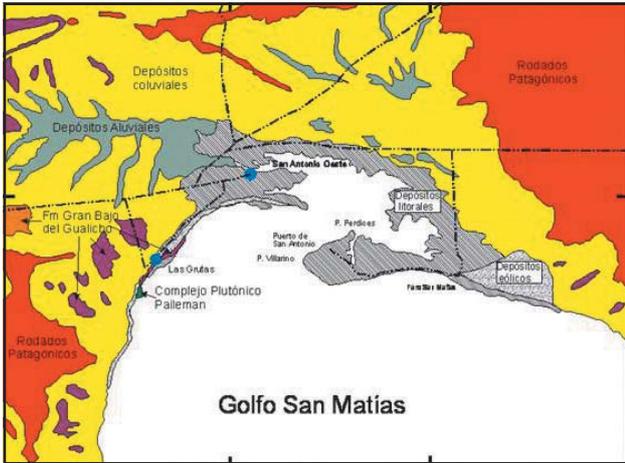


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio (basado en Martínez et al., 2001).



Figura 5. Horizonte A.

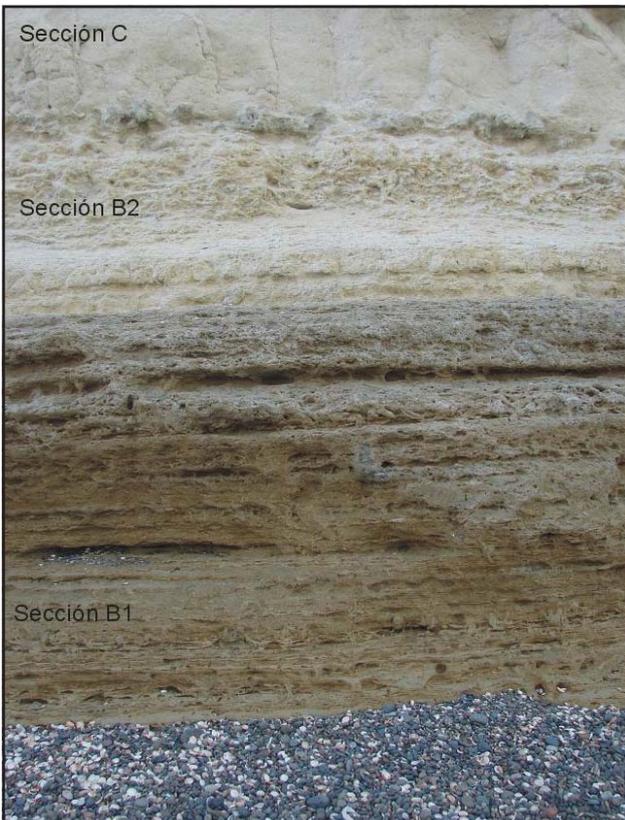


Figura 6. Diferenciación de los horizontes B1 y B2.



Figura 7. Estratificación lenticular de la sección B1.



Figura 8. Presencia de superficies de yeso en la sección C.



Figura 9. Horizontes C1 y C2.



Figura 10. Traza de Patagonichnus icnspp.



Figura11. Disposición y características de las facies fluviales.



Figura 13. Sectores del acantilado sometidos a caída de detritos.



Figura 14. Material caído del acantilado y acumulado en su base.

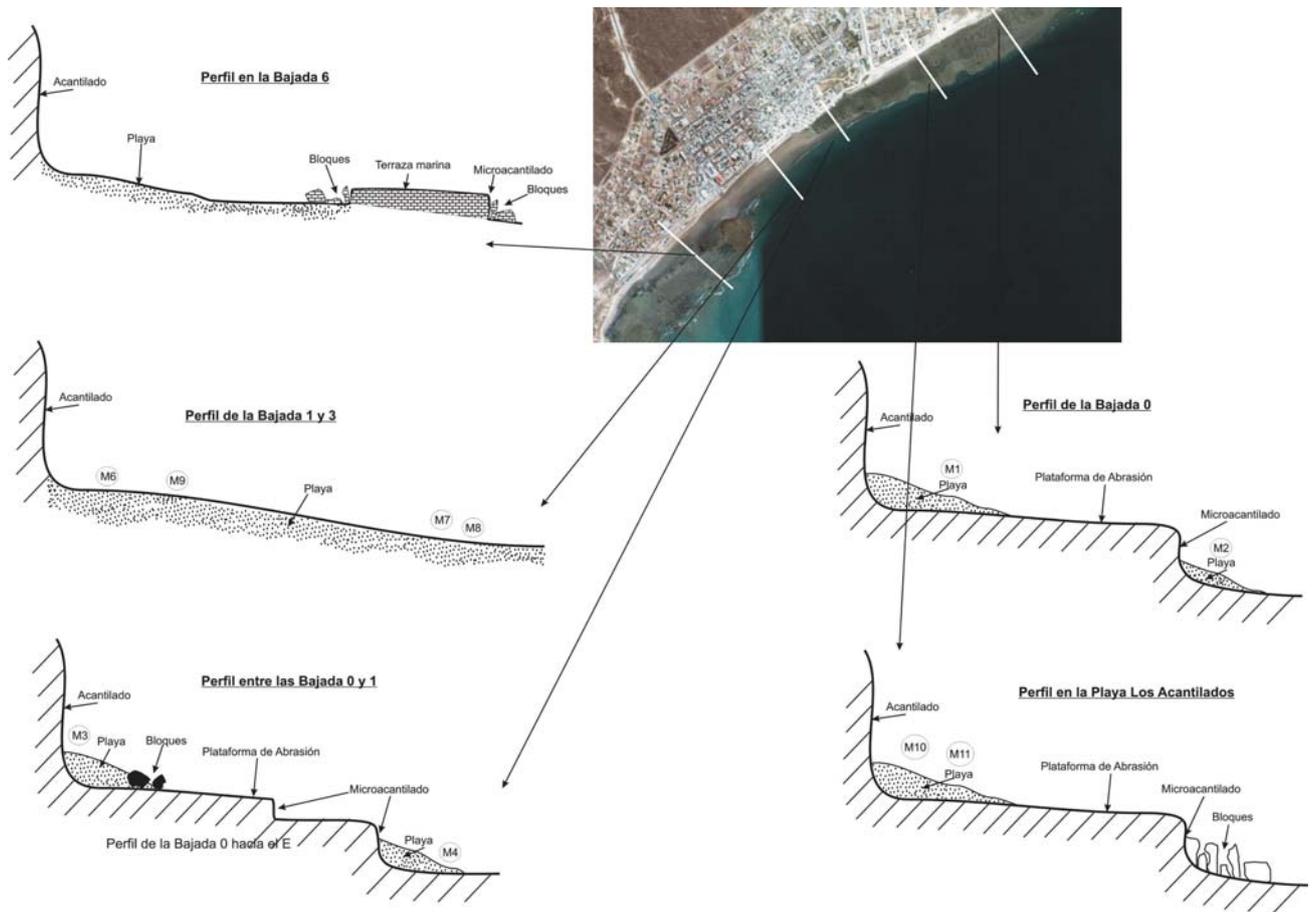


Figura 12. Perfiles típicos a lo largo del frente costero de Las Grutas con ubicación de muestras de sedimentos de playa.



Figura 15. Material caído del acantilado y retirado alternativamente por cada marea alta.

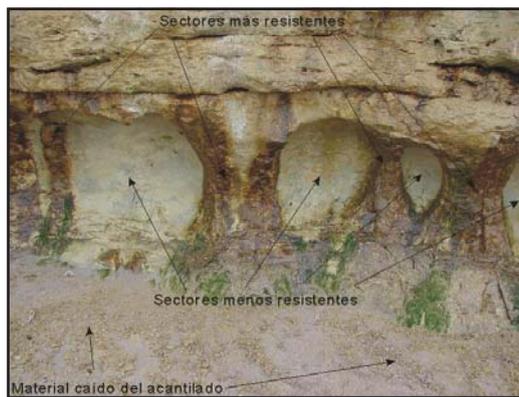


Figura 16. Sección A 1 que muestra diferentes sectores afectados en forma diferencial por la acción física del oleaje



Figura 17. Bloques diaclasados en los acantilados y dispersos en la playa.



Figura 18. Acantilado cubierto por presipitación de sales.



Figura 19. Desprendimiento de la cobertura de musgos y líquenes, exponiendo la roca huésped y favoreciendo la erosión.



Figura 20. Raíces que han crecido en diaclasas, permaneciendo aun su disposición según el plano.

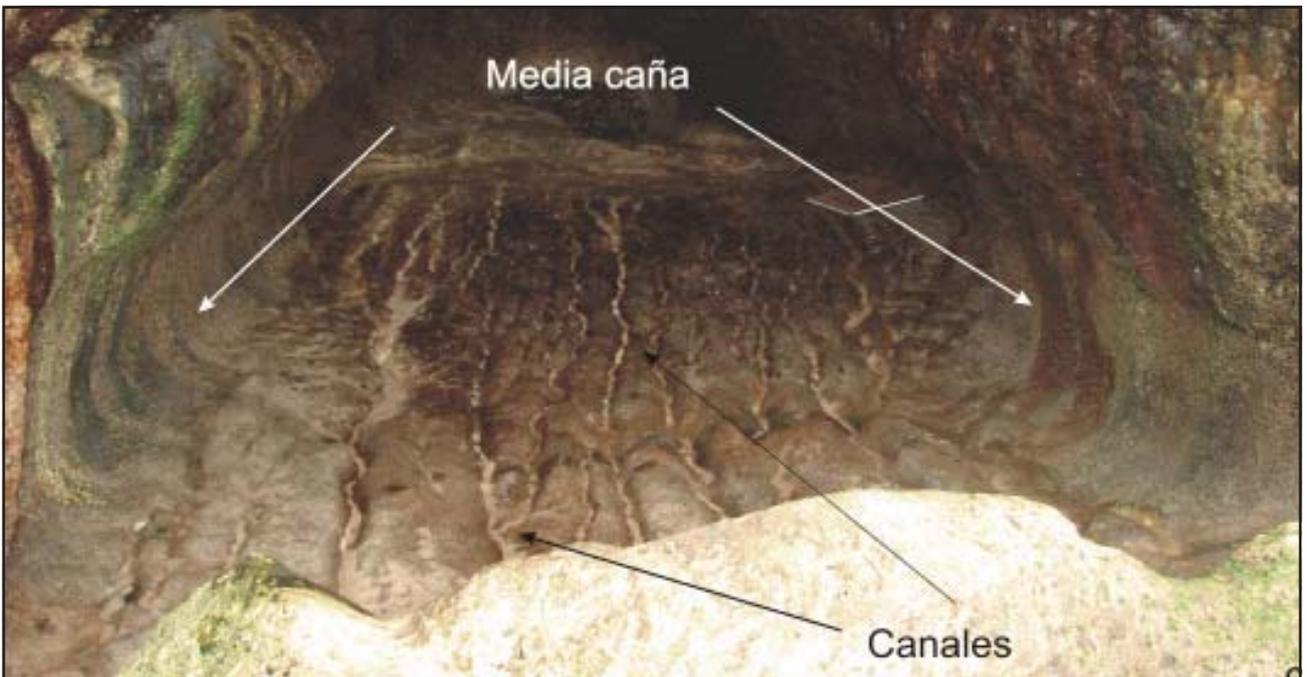


Figura 21. Diferentes formas de erosión marina.



Figura 22. Superficies de estratificación a nivel del oleaje.



Figura 23. Diaclasa vertical ensanchada por la acción del oleaje en la base del acantilado.

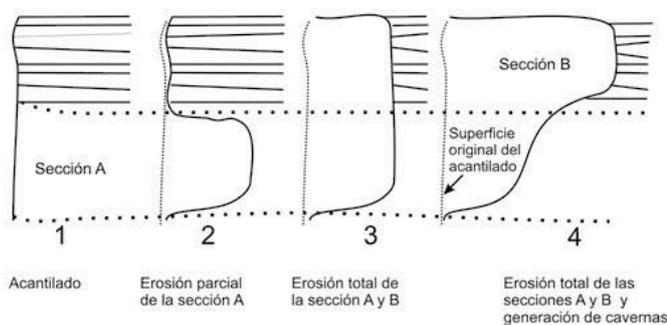
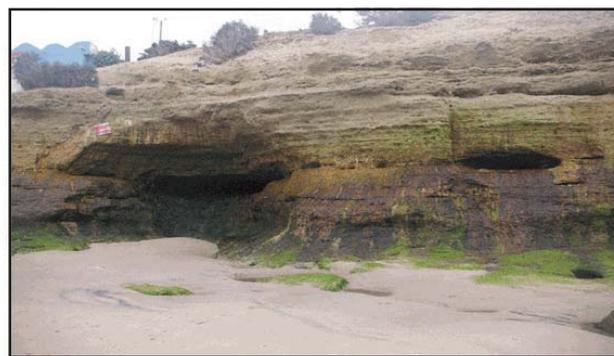


Figura 24. Formación de cuevas iniciada en la sección A.

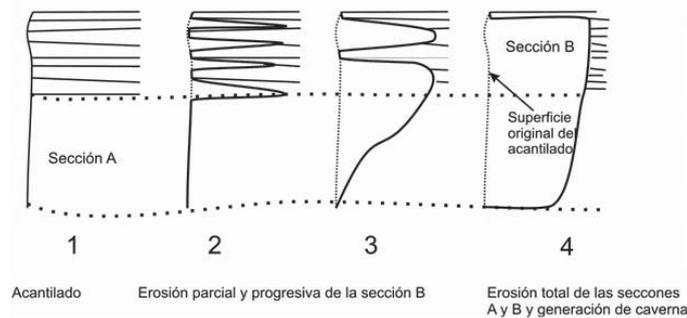


Figura 25. Formación de cuevas iniciada en el contacto A-B.

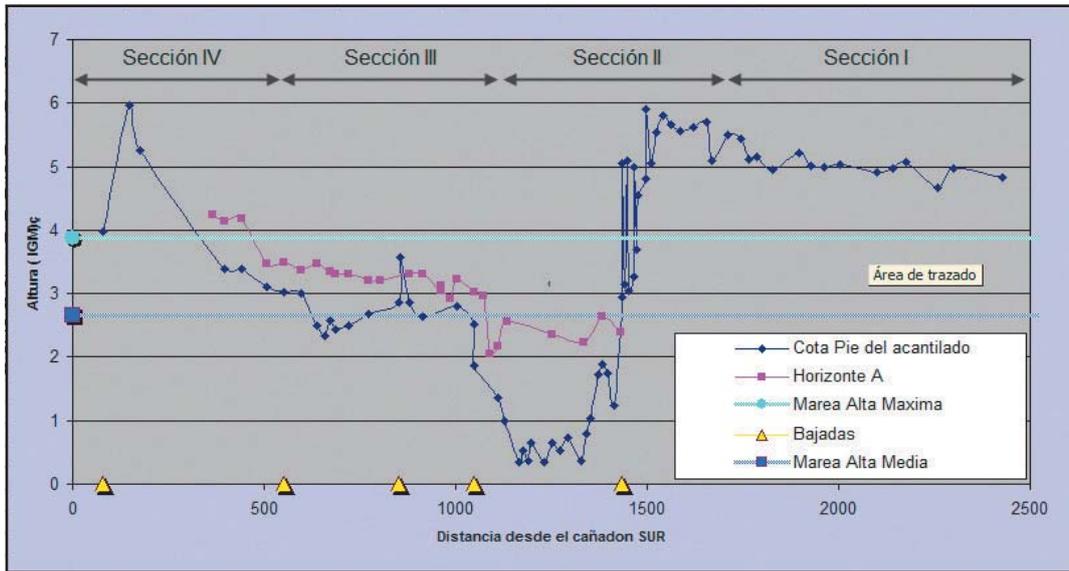


Figura 26. Perfil longitudinal con la posición del contacto A-B y la base del acantilado.



27. Fotografías de un sector del balneario mostrando el efecto de una tormenta (26 de julio de 2009; fuente anónima) y la recuperación posterior de la playa tres meses después (20 de octubre de 2009; fuente propia).

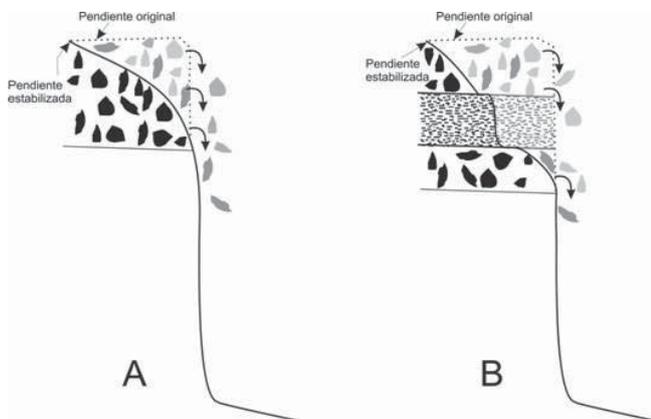


Figura 28. Estabilización de pendientes. Caso A: Pendiente final continua. Caso B: Aterrazamiento por estratos.



Figura 28. Estabilización de pendientes. Caso A: Pendiente final continua. Caso B: Aterrazamiento por estratos.

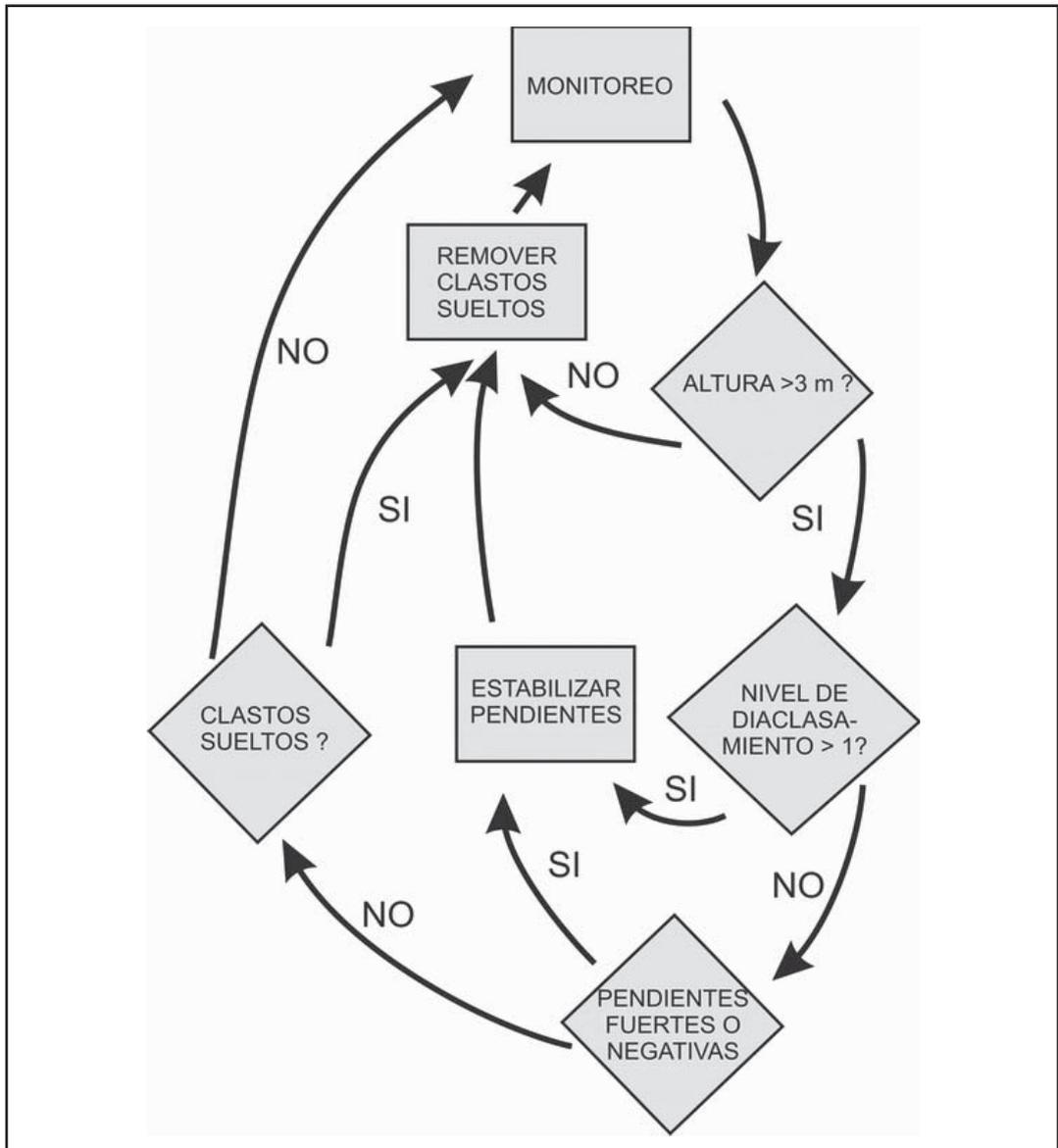


Figura 30. Esquema generalizado de la toma de decisión para el manejo de la parte superior del acantilado.



Foto. 31. Ocupación del sector de playa durante marea intermedia en plena temporada estival.



Foto. 32. Inefectividad de los actuales carteles de precaución.

CARTEL GRANDE

<h1>Las Grutas</h1>		<h2>MORFOLOGIA Y DINAMICA DE LA COSTA</h2>		<h2>PELIGROS NATURALES</h2>	
<p>Insert Ubicación Global Noroeste Golgo San Matias</p> <p>Mapa de la zona</p>		<p>imagen costa</p> <p>imagen Marea Baja</p> <p>imagen Marea alta</p>		<p>Fotografía zona de derrumbe</p> <p>Grafico</p> <p>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur a est vitae leo dictum interdum. Phasellus ac sapien.Vestibulum condimentum convallis arcu.Suspendisse potenti.Maecenas quis leo sed massa fermentum malesuada. Donec interdum vulputate neque. Curabitur sed nisi. Cras commodo, metus suscipit sodales venenatis, orci sapien hendrerit sem, lacinia sodales nunc erat vitae metus. Quisque pulvinar purus a orci. Nam lobortis rhoncus mi. Donec non sem in lacus adipiscing adipiscing. Vestibulum sem. Aliquam porttitor. Sed in massa eget justo commodo porta. Mauris commodo, justo nec lacinia commodo, ante tellus pharetra felis, eu aliquam diam leo ut dui. Vestibulum nunc. Nam nec libero. Ut tellus velit, tristique quis, aliquam nec, consectetur ut, dui. Vivamus varius lectus sit amet dui. Vestibulum scelerisque nisi sed purus.</p> <p>Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris.</p>	
<h2>RECURSOS BIOLÓGICOS</h2> <p>imagen</p> <p>imagen</p> <p>Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris.</p>		<h2>MUNICIPIO</h2>			
<p>Pertenencia al Área Natural Protegida Bahía de San Antonio Decretos y Ordenanzas que lo establezcan</p>					

CARTEL AL PIE DE LA BAJADA

<h1>Las Grutas</h1>		<h2>RECOMENDACIONES SOBRE RIESGOS</h2>	
<p>IMAGEN ILUSTRATIVA DE LA BAJADA ESPECIFICA</p>		<p>NORMAS DE COMPORTAMIENTO Y CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE</p> <p>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur a est vitae leo dictum interdum. Phasellus ac sapien.Vestibulum condimentum convallis arcu.Suspendisse potenti.Maecenas quis leo sed massa fermentum malesuada. Donec interdum vulputate neque. Curabitur sed nisi. Cras commodo, metus suscipit sodales venenatis, orci sapien hendrerit sem, lacinia sodales nunc erat vitae metus. Quisque pulvinar purus a orci. Nam lobortis rhoncus mi. Donec non sem in lacus adipiscing adipiscing. Vestibulum sem. Aliquam porttitor. Sed in massa eget justo commodo porta. Mauris commodo, justo nec lacinia commodo, ante tellus pharetra felis, eu aliquam diam leo ut dui. Vestibulum nunc. Nam nec libero. Ut tellus velit, tristique quis, aliquam nec, consectetur ut, dui. Vivamus varius lectus sit amet dui. Vestibulum scelerisque nisi sed purus.</p> <p>Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero.</p>	
<h2>BLOQUES CON GRIETAS</h2> <p>Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris.</p>		<p>imagen</p>	
<h2>EVACUACION POR TORMENTAS</h2> <p>Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris. Cras at libero. Donec congue metus ut orci. Etiam erat dolor, auctor vel, dapibus nec, pellentesque a, neque. Suspendisse ipsum. Donec ipsum. Nullam adipiscing. Sed at tortor. Integer nec leo. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer id mauris. Praesent vehicula massa ut est. Donec molestie neque quis mauris.</p>		<p>imagen</p>	
<p>Pertenencia al Área Natural Protegida Bahía de San Antonio Decretos y Ordenanzas que lo establezcan</p>		<h2>MUNICIPIO</h2>	

Fig. 33. Bosquejo de propuesta de sistema de señalización.



Fotografías de la Base Naval Punta Indio. 34. Comparación de fotografías aéreas de 1961 y 1997. Obsérvese la posición casi constante de cabos resistentes y la marcada erosión puntual por derrumbe de cavernas. El retroceso máximo es de aproximadamente 8 metros en 38 años.



## 7. Bibliografía

- Angulo, R., Fidalgo, F., Gómez Peral, M. & Schnack, E.J.. Las ingresiones marinas cuaternarias en la Bahía de San Antonio y zonas adyacentes. Provincia de Río Negro. VII Congreso Geológico Argentino. Neuquén. 1978. ACTAS: 271-283 pp..
- CERC. Shore Protection Manual, Chapter 3: Wave and Water Level Prediction. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. 1983. Vol. 1, 143 pp.
- CERC. Coastal Engineering Manual. EM-1110-2-1100. Chapter 2: Meteorology and Wave Climate. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. 2002. Part 2, 72pp.
- Carreto J. I., Casal, A. B., Laborde, M. A. y Verona, C. A. Fito-plancton, pigmentos y condiciones ecológicas del Golfo San Matías. Informe Com. Inv. Cient. Prov. Buenos Aires. 1974. 10, 76 pp.
- Codignotto, J. O. Geomorfología y dinámica costera. El Mar Argentino y sus Recursos. E. Boschi (ed.). Contr. INIDEP. 1997. T. 1: 89-105.
- Curtolo, L. Biodiversidad de vertebrados e invertebrados en la Bahía de San Antonio. IBMP Serie Publicaciones (3):12-14. 2003.
- Dean, R.G., Liotta, R. and Simon. G.. Erosion Hot Spots. Report Number UFL/COEL- 99/021, Coastal & Oceanographic Engineering Program. University of Florida. Gainesville, FL. 1999.
- del Río, J. L., López de Armentia, A.M., Alvarez, J.R. et al. Shoreline retreat at the Gulf San Matías. *Thalassas* 23 (2): 43 - 51. Argentina. 2007.
- Dragani, W., Speroni, J., D'Onofrio, et al. Estudio de la circulación de las aguas del Golfo San Matías mediante la aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos forzados con marea y viento. Sub-Proyecto AB-30 (GEF-Patagonia). Comunicación presentada ante la 23a Reunión Científica de Geofísica y Geodesia (AAGG). Ciudad de Bahía Blanca. Entre el 14 y el 18 de agosto de 2006.
- Dragani, W.. Estudio de la circulación de las aguas del Golfo San Matías mediante la aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos forzados con marea y viento. Sub-Proyecto AB-30. Informe de Avance I. Proyecto GEF Patagonia. Prevención de la contaminación costera y gestión de la diversidad biológica marina. SayDS. Donación FMAM Nro. 28385 AR – PNUD – AR/02/018. 2006. 14 pp.
- Dragani, W. Estudio de la circulación de las aguas del Golfo San Matías mediante la aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos forzados con marea y viento. Sub-Proyecto AB-30. Informe de Avance II Proyecto GEF Patagonia. Prevención de la contaminación costera y gestión de la diversidad biológica marina. SayDS. Donación FMAM Nro. 28385 AR – PNUD – AR/02/018. 2008.
- Escofet, A., Orensanz J. M., Olivier, S.R., Scarabino, V., Biocenología bentónica del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina): metodología, experiencias y resultados del estudio ecológico de un gran espacio geográfico en América Latina. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1978.
- Framiñán, M., Balestrini, C., Bianchi, A., Demilio, G. y Piola, A., 1991. Datos CTD y series temporales de velocidad, temperatura y conductividad en el Golfo San Matías. Informe Técnico N° 63/1991, Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval. Buenos Aires. 41pp.

- French, P. W. Coastal Defences. Processes, problems and solutions. Routledge. London. 2001. 366 pp.
- Gagliardini, D. A. and A. Rivas.. Environmental characteristics of San Matías Gulf obtained from Landsat-tm and etm+ data. *Gayana* 68(2),186-193. 2004.
- Glorioso P. D. and R. A. Flather. The Patagonian Shelf tides. *Progress in Oceanography*, 40, 263-283. 1997.
- Glorioso, P.. Patagonian Shelf 3-D tide and surge model. *Journal of Marine Systems*, 24, 141-151. 2000.
- González, R., Narvarte, M., Perier, M.; Sawicky, S. , Filippo, P., Curtolo, L. y M. Carbajal. Propuesta de gestión para el Area Natural Protegida Bahía de San Antonio, a partir de los conceptos y metodologías del Manejo Costero Integrado (MCI). IV Congreso Anual ASAEC (Asociación Argentina de Estudios Canadienses). Las Áreas Protegidas y la Gente. 27 al 29 de Mayo. Neuquén. 2003. 23 p.
- Holthuijsen, L. H., Booij, N., Ris, R. C., Haagsma, I. G., Keiftenurg, A. T., M. M., Kriezi, E. E., Zijlema, M., Van der Westhuysen, A. J., Padilla-Hernández, R., Rogers, E., Kaihatu, J., Petit, H., Campbell, T., Cazes, J., and Hashimoto, N. Swan cycle III version 40.31, User. Manual. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section, Delft. 2004. 113 p.
- INIDEP. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. E. Boschi (ed.). 1997. Tomo 1, 222 pp.
- INIDEP. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. E. Boschi (ed.). 1998. Tomo 2, 231 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The Physical Basis-Summary for Policymakers: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. 2007.
- Kraus, N. C., and Galgano, F.A. Beach Erosional Hot Spots: Types, Causes and Solutions. Coastal & Hydraulics Laboratory Report, ERDC/CHL CHETN-II- 44. U.S. Army Corps of Engineers. Vicksburg, MS. 2001.
- Lanfredi, N. Y Schmidt, S.. Golfo San Matías (Estudio de corrientes – 1977). Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval. Informe Técnico N° 79/05, 41p. 1979.
- Lanfredi N. W., D’Onofrio E.E., Mazio C.A.. Variations of the mean sea level in the southwest Atlantic Ocean. *Continental Shelf Research* Vol. 8 N°11, p 1211-1220. 1988.
- Lanfredi N.W., Pousa J.L., D’Onofrio E.E. Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research* 14(1), 47-60. 1998.
- Lasta, M. y C. Bremen. Vieira patagónica (*Zygochlamys patagonica* King & Broderip, 1832): Una nueva pesquería en la Plataforma Continental Argentina. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP, Argentina)* 12: 5 - 18. 1999.
- Martínez H., Nañez, C. y Faroux A.. Hoja Geológica 4166-II San Antonio Oeste. SEGEMAR. Boletín n 254. 2001.
- Masera, R. F; Lew J. y Peirano, G.S. Las mesetas patagónicas que caen al mar: La costa rionegrina. 1a. Ed. Gobierno de Río Negro. ISBN 987-22604-0-0. 2005. 54 p.
- Masselink, G. and Hughes, M. G. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Arnold. London. 2003. 354 pp.
- Mazio, C. y Vara, D. Las mareas del Golfo San Matías. Departamento Oceanografía. Servicio de Hidrografía Naval, Informe Técnico N° 13/83. 1983.
- Moreira, D. Estudio de la propagación y energía de las mareas en los Golfos Norpatagónicos en base a simulaciones numéricas y observaciones. Tesis de Licenciatura en Oceanografía. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos FCEN-UBA. 2008. 96 pp.
- Narvarte, M.A. Plan de Monitoreo de Contaminación de la zona costera del Golfo San Matías. Informe Final. Proyecto Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina. Donación GEF N° 28385 AR. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Noviembre 2006. 18 p.

- Nordstrom, K. F. Beaches and Dunes of Developed Coasts. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 289 pp. 2000.
- Ofiara D. D., Psuty N. P. Suitability of Decision-Theoretic Models to Public Policy Issues Concerning the Provision of Shoreline Stabilization and Hazard Management. Coastal Management. 29(4) 271 – 294. 2001
- Pilkey O. H and Wright H.L. .. Sea walls versus beaches Journal of Coastal Research 6(1): iii-viii. 1988.
- Piola, A.. y Scasso, L.. Circulación en el Golfo San Matías. Geocta, 15(1):33-51. 1988.
- Rivas, A.. Heat balance and annual variation of mean temperature in the north-Patagonian gulfs. Oceanologica Acta,13:265-272. 1990.
- Rivas, A. y Beier, E. . Temperature and salinity fields in the northpatagonic gulfs. Oceanológica Acta, 13:15-20. 1990.
- Rutter, N., Schnack, E., del Río, J., Fasano, J., Isla, F. & U. Radtke. Correlation and dating of Quaternary littoral zones along the Patagonian coast. Quaternary Sc. Revs., 8: 213-234. Argentina. 1989.
- Scasso, L. y Piola, A.. Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías. Geocta, 15(1):13-31. 1988.
- Schnack, E. J.. Historia y evolución geológica del Golfo San Matías. Taller sobre Manejo de Recursos en el Golfo San Matías. San Antonio Oeste, septiembre de 2004. "IBMP – Serie Publicaciones Nro. 3", revista del Instituto de Biología Marina y Pesquera "Almirante Storni". ISSN#1666-4019, 25-26. 2004.
- Schnack, E. J. La geología en la gestión costera. VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Mar del Plata 12-14 de diciembre de 2007. Actas de Resúmenes (conferencia), 95p.
- Schnack, E. J., Aliotta, S., Isla, F.I. y A. Lisazoain, Formas de fondo asociadas a un delta de reflujos macromareales, Bahía de San Antonio, Río Negro, Argentina. Thallasas (Rev. de Ciencias del Mar, España), 12: 121-135. 1996
- Schnack, E. J., Scalise, A.H., Ahrendt, K. y Nuño Martínez, T. Evaluación de la situación producida sobre el cordón dunar costero en el sector Los Médanos, planta urbana del Balneario Las Grutas, 10 pp. Solicitado a la CIC Bs. As. por el Juez de Faltas de San Antonio Oeste. 2007
- Speroni, J., Dragani, W. y Mazio, C. 2004. Mediciones de corrientes en San Antonio, Golfo San Matías, Provincia. de Río Negro. Servicio de Hidrografía Naval, Departamento Oceanografía. Informe Técnico, en prensa.
- Vara, D. y Mazio, C. Corrientes de mareas en el Golfo San Matías. Departamento Oceanografía. Servicio de Hidrografía Naval. Informe Técnico N° 20/83. 1983. 30p.
- Yorio, P.; Frere, E.; Gandini, P.; Harris, G. Atlas de la distribución reproductiva de Aves Marinas en el litoral patagónico argentino. Ed. Fundación Patagonia Natural. Puerto Madryn. 1998. 221 pp.

