



Retroceso costero y su relación con parámetros geotécnicos. Las Grutas, Río Negro

Coastal receding and its relation to geotechnical parameters. Las Grutas, Río Negro

Kokot, Roberto R. ¹⁻²✉ - Salminci, José G. ¹⁻³ - Luna Fabio S. ³ - Tunstall, Cynthia ¹

Recibido: 06 de Julio de 2012 • Aceptado: 06 de Mayo de 2013

Resumen

Se estudia el sector costero del balneario Las Grutas donde afloran rocas sedimentarias y piroclásticas y el área de Piedras Coloradas con afloramiento de rocas graníticas. Los dos sectores están localizados en el Golfo San Matías sobre la costa del Océano Atlántico, al noreste de la Provincia de Río Negro. En Las Grutas, la costa está en retroceso y la acción antropogénica constituye un factor coadyuvante en el proceso erosivo en relación con la importante expansión urbana de la localidad, en tanto que la costa de Piedras Coloradas no muestra un retroceso aparente.

Se relacionan las tasas de erosión costeras, cuantificadas en trabajos previos, con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de los afloramientos involucrados en los procesos erosivos. También se analizan los factores geológicos que controlan el retroceso costero y la inestabilidad del acantilado teniendo en cuenta los parámetros marinos que influyen en el desarrollo de procesos de erosión costera.

Se relevó el acantilado, registrando litología, altura, pendientes y estructuras, evaluando *in situ* la resistencia de los afloramientos de acuerdo al método ISRM y por medio de un Martillo de Schmidt calibrado para su uso en rocas. Se obtuvieron testigos a partir de muestras de campo y se desarrollaron los siguientes estudios: análisis petrográfico, contenido de humedad, absorción de agua, densidad específica, porosidad, velocidad de ondas sónicas, resistencia a la compresión simple seca y saturada.

Los resultados de los ensayos de laboratorio, comparados con los relevamientos, permitieron ampliar el conocimiento de la geología de la zona y determinar la correspondencia entre el modelo geológico-geomorfológico y los parámetros geotécnicos.

Los valores de resistencia a la compresión simple obtenidos para los granitos corresponden a resistencias muy altas, para las tobas son bajos y para las areniscas muy bajos. Estos valores de resistencia a la compresión se relacionan directamente con el retroceso de la línea de costa.

Los valores obtenidos a partir del uso del esclerómetro presentan limitaciones. Respecto a las rocas con altos valores de resistencia a la compresión simple los resultados salen de escala y en las

1. Departamento Ciencias Geológicas, FCEyN (UBA)

2. IGEBA- CONICET

✉ rkokot@gl.fcen.uba.ar

3. INTI- Construcciones – UT Geología Aplicada y Ambiental

rocas de baja resistencia dan valores mayores que los reales. Sin embargo existe una correspondencia cualitativa entre los valores de resistencia de las litologías estudiadas.

Palabras Clave: Erosión. Costa de Río Negro. Geotecnia. Martillo de Schmidt.

Abstract

The coastal area of Las Grutas where sedimentary and pyroclastic rocks outcrops, and the area of Piedras Coloradas with granite outcrops, are studied. The two sectors are located in the San Matías Gulf on the Atlantic Ocean, northeast of the Río Negro Province. In Las Grutas, the coast is receding and anthropogenic action is a contributing factor in the erosion process in relation to major urban expansion of the town, while the coast of Piedras Coloradas shows no apparent receding.

Erosion was previously quantified and this work relates it with the geological, geomorphological and geotechnical characteristics of the outcrops. It also discusses the geological factors that control coastal retreat and cliff instability taking into account the marine parameters influencing the development of coastal erosion processes.

Surveys were conducted at the cliff, recording lithology, altitude, slope, structures and site assessments of the strength of the outcrops by a Schmidt Hammer calibrated for rocks. Also, the rock strength was evaluated following ISRM Methods. Rock core samples were obtained from field samples; the following studies were performed: petrographic analysis, moisture content, water absorption, specific gravity, porosity, sonic wave velocity, compressive strength dry and saturated.

The results of laboratory tests compared well with the surveys, provided an expanded knowledge of the geology of the area and allowed for the correlation between the geological-geomorphologic model and the geotechnical parameters.

The strength values obtained for the granite correspond to very high strengths, that of tuffs is low strength and very low for sandstones. These compressive strengths can be directly related to the retreat of the coastline.

The strength values obtained using the Schmidt hammer have limitations. On the rocks with high compressive strength, results lie out of scale, while low-strength rocks show higher than true values. However, there is a qualitative correspondence between the resistances values of the lithologies studied.

Keywords: Erosion. Río Negro coast. Geotechnics. Schmidt hammer.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a los sectores costeros del balneario Las Grutas y Piedras Coloradas, ambos localizados en el Golfo San Matías sobre la costa del Océano Atlántico, al noreste de la provincia de Río Negro (Figura 1).

El balneario Las Grutas es un importante centro turístico de Patagonia que presenta una costa acantilada con gran cantidad de cuevas marinas, a cuyo pie se desarrollan amplias playas totalmente expuestas durante bajamar. El sector se encuentra en un área natural protegida reconocida como “Sitio Internacional de la Red Hemisférica de Aves Playeras”. La costa está en retroceso y la acción antropogénica constituye un factor coadyuvante en el proceso erosivo, en relación con la importante expansión urbana de la localidad en los últimos treinta años (Kokot y Chomnalez 2012).

Piedras Coloradas, sitio ubicado unos cinco kilómetros al sur de Las Grutas, también constituye una importante atracción turística que se caracteriza por la presencia de amplias playas de arena y por una saliente rocosa donde afloran rocas graníticas de tonalidad rojiza que le dan nombre a la localidad. En este caso la costa no muestra un retroceso aparente.

El objetivo principal del presente estudio consiste en relacionar las tasas de erosión costeras del área con las características geotécnicas de los afloramientos involucrados en los procesos erosivos.

La cuantificación del retroceso costero del área fue realizada a partir de la reconstrucción histórica de la línea de costa por Kokot y Chomnalez (2012). Los datos geológicos y geomorfológicos fueron obtenidos a partir de sucesivos relevamientos, Kokot (1999), Kokot et al. (2004) y tareas de campo desarrolladas para este trabajo en el contexto de proyectos Ubacyt desarrollados en forma conjunta con el INTI.

A partir del conocimiento de las tendencias evolutivas del área de estudio, y del desarrollo de estudios geotécnicos cuantitativos se pudieron relacionar las características geológicas, geomorfológicas, estructurales y geotécnicas. Los resultados permiten vincular el retroceso costero con las características físicas y mecánicas de las rocas, las cuales sirven como base para el desarrollo de estudios de peligrosidad y riesgo geológico, con el fin de mejorar el manejo costero del área en un escenario susceptible a la erosión.

En el presente trabajo se analizan los factores geológicos que controlan el retroceso costero y la inestabilidad del acantilado teniendo en cuenta los parámetros marinos que influyen en el desarrollo de procesos de erosión costera.

METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en tres etapas correspondientes a trabajos de gabinete, de campo y de laboratorio.

La primera etapa incluyó la recopilación, validación y análisis bibliográfico y cartográfico. En relación con las evidencias geomorfológicas del retroceso de la línea de costa se

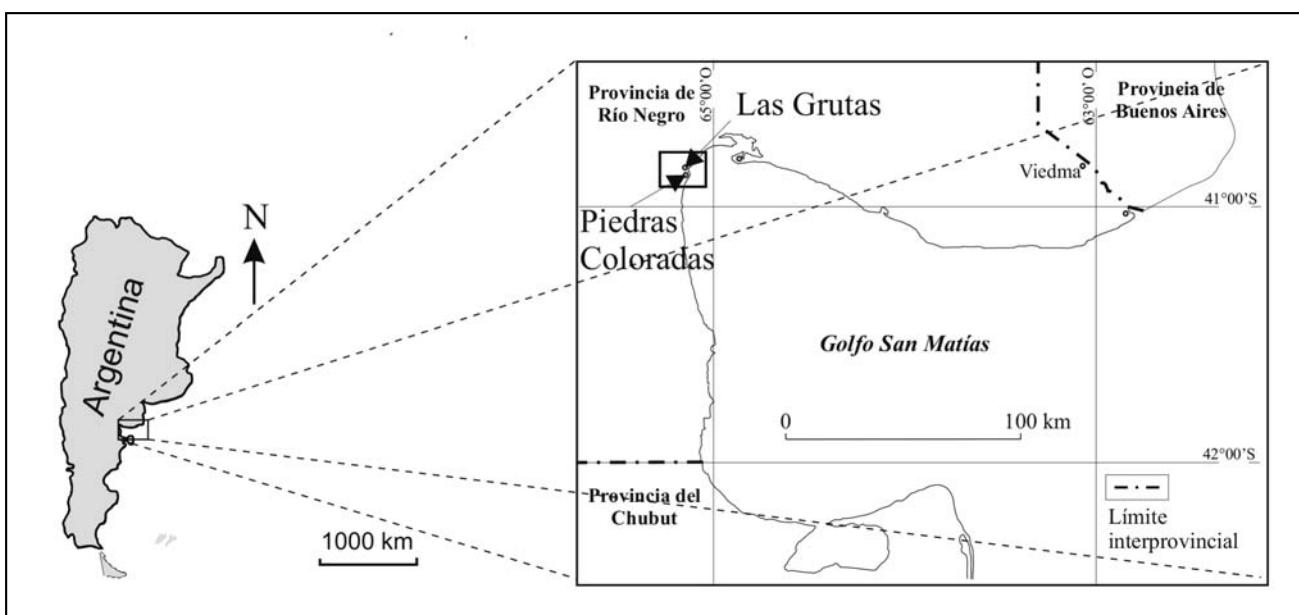


Figura 1. Mapa de ubicación.

indicaron zonas de mayor o menor retroceso costero, información obtenida de Kokot y Chomnalez (2012) que determinaron el retroceso de la línea de costa entre 1969 y 2008, a partir de registros fotográficos y satelitales. La separación entre costa y ribera se efectuó a partir de los criterios del U.S. Army Corps of Engineers (2002) y de Kokot *et al.* (2011).

En la segunda etapa se relevaron distintas secciones del acantilado, efectuando esquemas estratigráficos y estructurales en una escala de trabajo 1:5.000. Se registraron alturas, pendientes, diaclasas (orientación y buzamiento), litologías, tipos de contacto estratigráfico y presencia de planos de estratificación en un perfil de detalle. Asimismo se obtuvieron aproximaciones a la resistencia uniaxial mediante la utilización de un Martillo de Schmidt calibrado para su uso en rocas y también de acuerdo al método ISRM (1981) con piqueta. En esta etapa se obtuvieron muestras de las rocas para el desarrollo de análisis y ensayos de laboratorio.

La tercera etapa correspondió al desarrollo de ensayos y análisis de testigos de rocas. La metodología utilizada para la realización de los ensayos mencionados precedentemente corresponde a normativa nacional e internacional (Tabla 1).

Tabla 1. Normativa utilizada para la realización de los ensayos.

Ensayo	Norma
Contenido de humedad	IRAM 10601
Absorción de agua	ASTM C-97
Densidad	ASTM C-97
Porosidad	ASTM C-97
Velocidad de ondas sónicas	ASTM D 2845
Resistencia a la compresión	IRAM 10607

Para la interpretación de los valores de campo con el martillo de Schmidt, se tuvo en cuenta el valor del peso específico en seco de las muestras, según metodología de González de Vallejo (2002).

Los resultados obtenidos en esta etapa permitieron ajustar el modelo geomorfológico con parámetros índices de la calidad de las rocas. Asimismo se comparan los datos de campo con los de laboratorio, con la finalidad de determinar la precisión del instrumental utilizado.

MARCO CONCEPTUAL

La erosión costera pone en juego un sistema de fuerzas, la fuerza de ataque originada por la acción marina y la fuerza de resistencia que depende de las propiedades intrínsecas del material (Sunamura 1976, 1977, 1992). La intensidad relativa de las dos fuerzas determina la posibilidad de erosión. Los sedimentos presentes en la ribera, que se interponen entre ambas fuerzas, favorecen la acción abrasiva pero en determinadas condiciones sirven de protectores o atenuadores de energía.

La energía de las olas está directamente relacionada con la fuerza de ataque (F_a) ejercida por las mismas en la base del acantilado y está afectada por: a) Nivel del mar, b) Topografía de la playa, plataforma litoral y del fondo de aguas poco profundas frente del acantilado que determina el tipo de rompiente de ola, c) Que el impacto de las olas sobre los afloramientos se produzca en coincidencia con la rompiente, d) Presencia de sedimentos de playa.

Las olas, al incidir en la base del acantilado, ejercen acción hidráulica y acción mecánica, debido a que pueden estar cargadas con sedimentos de playa. La acción hidráulica consiste principalmente en compresión, tensión y corte. Según Brossard y Duperret (2004) estas presiones se mantienen durante una fracción de segundo y generalmente son mucho menores que la resistencia a la compresión de la mayoría de las rocas. Si el acantilado tiene fallas o diaclasas abiertas, el aire en los intersticios es rápidamente comprimido, y como las olas

retroceden el aire comprimido se expande con fuerza explosiva ejerciendo tensiones a la salida.

La magnitud de la fuerza de ataque de olas (F_a) cambia cíclicamente, básicamente con el período de ola. Son escasas las mediciones directas de campo de la fuerza de ataque de olas debido a la complejidad del fenómeno involucrado y a la dificultad de medida.

La litología de los materiales que forman un acantilado, representa en parte su resistencia mecánica, la cual determina la fuerza de resistencia de los materiales (F_r) de un acantilado respecto a la incidencia de olas. La disminución de la fuerza de resistencia se debe a la presencia de discontinuidades en las rocas tales como los planos de estratificación, grietas, hendiduras, clivaje, diaclasas y fallas, ya sean estas características propias del afloramiento o adquiridas por tectonismo.

La resistencia de los materiales de un acantilado respecto a la fuerza de ataque de olas (F_a) se considera diferente de acuerdo a las condiciones espaciales y temporales. De acuerdo a Sunamura (1992), el parámetro más apropiado para expresar la fuerza de resistencia (F_r) es la resistencia a la compresión. La erosión se produce cuando la fuerza de ataque F_a es mayor que la fuerza de resistencia F_r . Si la fuerza de resistencia es mayor, no hay erosión, pero puede ocurrir que la fuerza de resistencia disminuya por meteorización y fatiga de las rocas (Figura 2). Por lo tanto, puede deducirse que el retroceso de un acantilado depende de tres variables: fuerza de ataque, fuerza de resistencia y tiempo.

Las velocidades de erosión son documentadas y registradas en muchos países. Los datos son promediados en períodos que van de 1 a 100 años y para que sean representativos, no deben ser puntuales sino que deben corresponder a tramos considerables a lo largo de la costa y los promedios son sumamente variables. En la Tabla 2 se presentan datos basados en las características litológicas que muestran que la litología y consolidación del material de un acantilado controlan el grado de erosión.

Tabla 2. Relación entre la litología y la velocidad de erosión, según Sunamura (1992).

Litología	Velocidad de erosión (m/año)
Rocas graníticas.	0,001
Calizas.	0,001 - 0,01
Lutitas.	0,01
Creta y rocas sedimentarias poco diagenizadas.	0,1 - 1
Depósitos cuaternarios.	1 - 10
Piroclastos inconsolidados.	10

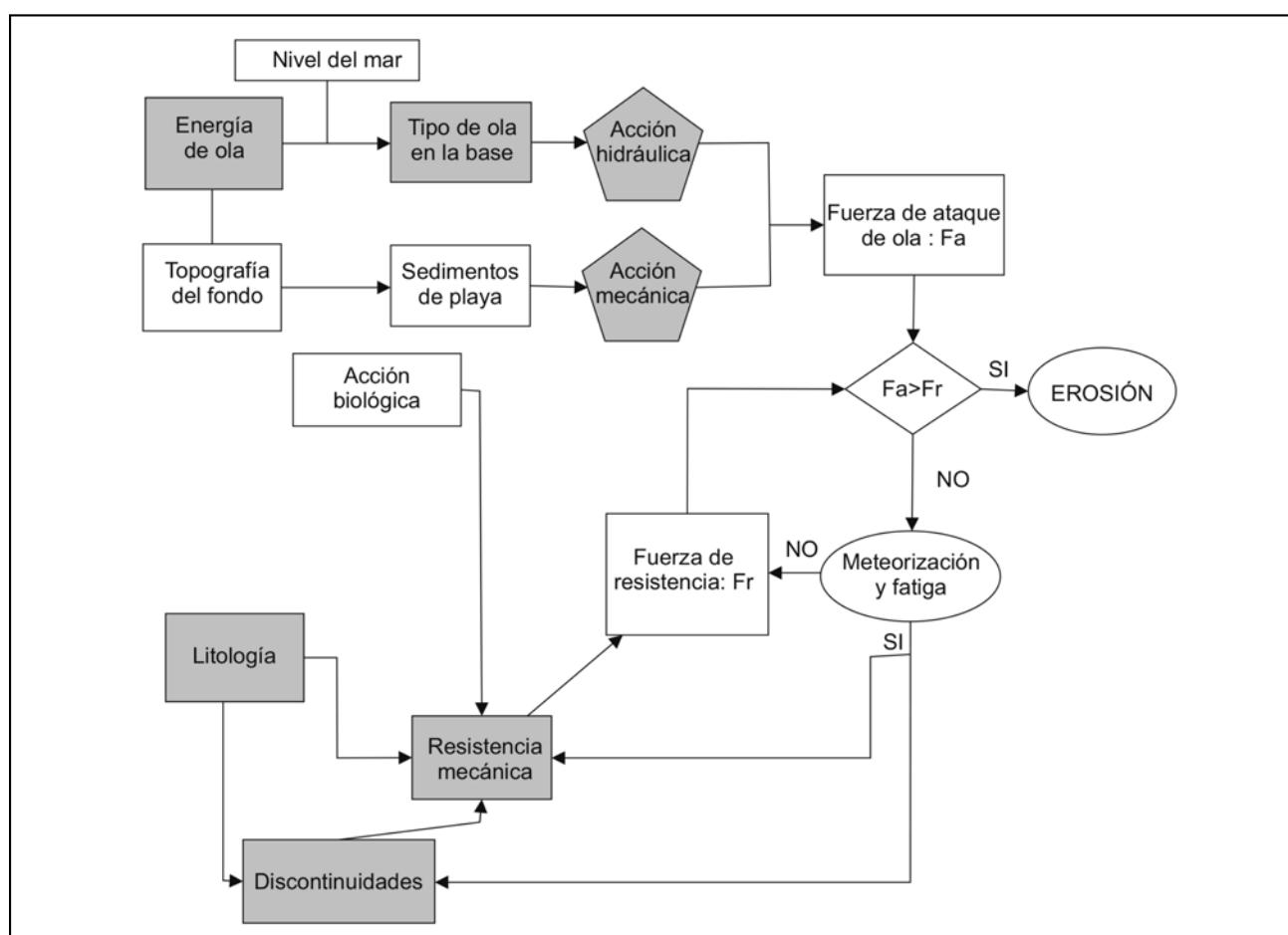


Figura 2. Erosión en un acantilado. Relación entre fuerza de ataque (F_a) y fuerza de resistencia (F_r). Modificado de Sunamura 1992.

Un indicador de la erosión de un acantilado es la presencia de una muesca que se extiende lateralmente en la base del mismo, donde su anchura es mayor que su altura. La velocidad de evolución depende del tipo de rocas, grado de meteorización, estructura y estado tenso-deformacional, de la energía y nivel de las olas que llegan a la base el acantilado y la cantidad de material abrasivo en movimiento por las olas en el sistema playa acantilado. La acción abrasiva se infiere fácilmente del hecho que la superficie de las rocas en el ámbito de la playa está pulida por esta acción.

Respecto a las fuerzas de compresión que se manifiestan cuando las olas atacan la cara del acantilado, existe disparidad respecto a la magnitud alcanzada por las mismas. *Rice (1983)* indica valores de presiones instantáneas de hasta 4,9 MPa mientras que *Brossard y Duperret (2004)* indican que las presiones de impacto pueden alcanzar entre los 0,5 y 0,7 MPa. Cuando las olas rompen sobre un afloramiento generan presiones que se caracterizan por presentar un alto pico de presión seguido por una presión hidrodinámica más pequeña. Los tiempos se miden en 0,0005 s y las magnitudes de presión por encima de los 0,69 MPa (*Brossard y Duperret 2004*). *Bullock et al. (1999)* mencionan presiones mayores a 0,435 MPa medidas en rompeolas.

Las fuerzas dinámicas de las masas de agua moviéndose también actúan sobre la línea de costa y se mencionan movimientos de bloques de concreto de 42 t por la acción de olas.

Un dato relevante es que la magnitud de la presión no está relacionada con la altura de la ola. En áreas donde se registraron alturas de ola mayores a 4,50 m, los más altos impactos de presión de 0,69 MPa fueron generados por olas de 2,5 m de altura. Investigaciones recientes confirman que la altura de la ola no genera las mayores magnitudes de presión sino que esta está determinada por el tipo de rompiente que determina el tiempo en que actúan estas presiones, con rompientes en voluta (*plunging waves*) generando los impactos más severos (*Wolters y Muller 2004*). El tipo de rompiente, en este caso olas en voluta, se origina con pendientes de fondo de 3° a 11° y la energía se concentra donde rompen las olas.

Respecto a la resistencia a la compresión simple de las rocas, *González de Vallejo et al. (2002)* presentan valores medios, destacándose la utilización de índices de campo que permiten una estimación de la resistencia uniaxial (ISRM 1981). En la Tabla 3 se observa la clasificación de las rocas respecto a su resistencia a la compresión simple.

CLIMA Y ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

El clima es árido a semiárido con lluvias escasas, donde el promedio de precipitaciones anuales no supera los 250 mm. Las temperaturas en verano oscilan entre los 14°C y 41°C y en invierno entre 2°C y 13°C. Los vientos predominantes vienen del sudoeste y son muy fuertes. Hay influencia de vientos oceanicos, más frecuentes en invierno, aportando mayor humedad al área donde es común la presencia de brumas.

En el Golfo San Matías las aguas son cálidas por la combinación de factores atmosféricos (calor del sol sobre las playas y las plataformas litorales durante la bajamar) y oceanográficos por el poco movimiento de las corrientes marinas.

Las mareas astronómicas, según Servicio de Hidrografía Naval (2012) corresponden a un régimen mareal semidiurno y a un ambiente macromareal, siendo las pleamaras máximas pronosticadas de 9,43 m y las mínimas bajamaras de 0,26 m. Los

Tabla 3. Clasificación de las rocas por su resistencia a la compresión simple (modificado de González de Vallejo 2002)

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Ejemplos
<1		Suelos
1-5	Muy blanda	Lutita, limolita, marga, toba, carbón
5-12,5	Blanda	
12,5-25		
25-50	Moderadamente dura	Esquisto, pizarra
50-100	Dura	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía
>200		Cuarrita, gabro, basalto
>250	Extremadamente dura	

pronósticos corresponden al puerto patrón más cercano, San Antonio (Muelle Este). La oscilación diaria de marea para el Balneario de Las Grutas, según *Dragani et al. (2008)* es de aproximadamente 6 m en cuadraturas y mayor a los 9 m en siccigas.

Datos de olas, obtenidos del *Servicio Meteorológico Nacional (2013)*, indican que los valores de altura significativa de ola oscilan entre 0,5 m y 1,5 m con períodos de entre 7 s y 10 s. Las alturas de ola son mayores durante eventos de tormenta. Durante una sudestada ocurrida en febrero del año 2006, donde las olas arrastraron a bañistas del área (*Río Negro 2006*) las alturas superaron los 3m y acentuaron la erosión de los acantilados y la playa.

Las características oceanográficas del Golfo San Matías fueron estudiadas entre otros por *Escofet y Orensan (1977)*, *Scasso y Piola (1988)* y *Dragani et al. (2008)*. Describen al golfo como una extensa depresión litoral separada del mar adyacente por umbrales más o menos destacados. De las márgenes al centro, presenta bruscos aumentos de la profundidad y se asemeja a una gran bahía que comunica al este con el mar por una boca amplia de unos 100 km de ancho y entre 35 m y 55 m de profundidad. La geometría de la boca restringe el intercambio con el mar abierto y sus aguas resultan influidas por el forzado atmosférico (*Rivas, 1990*).

Respecto a sus aguas, la mayor salinidad y la menor temperatura se encuentran en las mayores profundidades, pero en general hacia la costa la temperatura aumenta y disminuye la salinidad por el aporte de agua dulce. En los meses de verano la temperatura ambiente es tan alta que gran parte del agua que ingresa a la bahía es evaporada. Esto a su vez produce un aumento en la salinidad marina.

Al analizar los datos de vientos y corrientes, obtenidos en la boya oceánica fondeada en Las Grutas, se puede saber acerca de la incidencia de los vientos sobre las corrientes, siendo estos predominantemente del oeste (*Moreira, 2008*).

La circulación de agua en el interior del Golfo San Matías sigue una dirección cerrada semejante a la de las agujas del reloj.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio es parte de la provincia geológica del “Macizo Norpatagónico” (*Harrington 1962*). Regionalmente, el relieve corresponde a una altiplanicie basáltica, donde se destacan los conos volcánicos, sierras y cerros que alcanzan los 1900 m.s.n.m., descendiendo de manera escalonada hacia el mar en donde la costa se caracteriza por ser acantilada.

La zona costera presenta un relieve de poca altitud, donde las mayores alturas se expresan en los acantilados marinos, que alcanzan unos 10 m de altura.

Las principales unidades geológicas que afloran en el área fueron descriptas por *Porro y Fidalgo (1981)*, *Gelós et al (1993)*, *Martínez et al. (2001)*, *Kokot et al. (2004)* y *Kokot y Chomnalez (2012)*. Aflora la Formación Gran Bajo del Gualicho (*Lizuain y Sepúlveda 1978*) que está bien expuesta en el frente acantilado y en la plataforma litoral, reconociéndose areniscas coquinoïdes, arcillosas y calcáreas, con presencia de material tobáceo y abundantes niveles con yeso. Es notable también la presencia de estructuras sedimentarias y abundantes signos de bioturbación. Los colores, en general claros, varían entre castaño y gris amarillento. Son comunes también las tonalidades blanquecinas y verdosas. La unidad es de edad oligocena superior-miocena y su espesor, aflora sólo parcialmente en el área, es mayor a los 200 m (*Ramos 2000*).

Sobre la Formación Gran Bajo del Gualicho se apoya en discordancia erosiva la Formación Baliza San Matías (*Ángulo et al. 1978*). Está constituida por conglomerados con matriz arenosa, con estratificación entrecruzada y valvas de moluscos. Se la adjudica al Pleistoceno inferior-medio (*Porro y Fidalgo 1981*) y los afloramientos de esta unidad se pueden encontrar en parte de la plataforma litoral frente a Las Grutas (*Martínez et al. 2001*).

Sobre los acantilados marinos y en discordancia erosiva se hallan depósitos de cordones litorales. Corresponden a depósitos de arenas y gravas con estratificación entrecruzada y donde es notable la presencia de bivalvos, siendo abundantes las valvas de *Amiantis sp* con ejemplares en posición de vida. Se hallan a una altura variable (entre 8 y 12 m.s.n.m.) El espesor de esta unidad, es mayor a los 2 m y se expone sobre los acantilados. Estos depósitos son pleistocenos (*Kokot y Chomnalez 2012*). Los depósitos de cordones litorales están casi totalmente cubiertos por depósitos eólicos holocenos, compuestos por arenas finas y medianas y se exponen en continuidad hacia la bahía de San Antonio por varios kilómetros hacia el sur de Las Grutas.

Parte del área está cubierta por depósitos coluviales, constituidos por gravas de rocas ígneas que cubren pedimentos y a su vez procedentes de las áreas más altas. Estos depósitos también están constituidos por clastos de las unidades adyacentes y por sedimentitas marinas y fluviales terciarias. Son limos, arenas, arcillas y gravas poco consolidadas. Al pie del acantilado y en forma discontinua se hallan depósitos de arena de playa.

En el balneario Piedras Coloradas, ubicado al sur de Las Grutas afloran granitos de grano fino y mediano de colores rojizo y gris pertenecientes al Complejo Plutónico Pailemán (*Giacosa 1993*) y en parte cubiertos por arenas de playa. *Sato et al. (1998)* mencionan estos afloramientos como correspondientes al basamento ígneo-metamórfico y *Varela et al. (1997)* los denominan Leucogranitos de Las Grutas.

GEOMORFOLOGÍA

La línea de costa tiene una orientación general norte a sur que se expone a la acción de olas provenientes del este y del sudeste, predominando las segundas. Estas olas determinan un patrón de deriva litoral predominante hacia el norte. La costa se caracteriza por la presencia de acantilados marinos activos cuyas alturas alcanzan entre 8 y 10 m con presencia de cuevas marinas y en general presentan una muesca bien desarrollada que indican el límite de la erosión marina directa. El frente acantilado presenta evidencias de cruce de diaclasas y planos de estratificación que configuran condiciones de debilidad ante el ataque directo de las olas. La morfología del acantilado está condicionada por el cruce de estas diaclasas, mostrando un frente irregular, pero marcado por líneas rectas debido a este control estructural. Los acantilados marinos son geoformas de génesis compuesta, acción marina más remoción en masa, que encuentran condiciones favorables a partir de las mencionadas condiciones estructurales.

Es de fundamental importancia para caracterizar la dinámica del ambiente costero tener en cuenta la gran amplitud de mareas del área de estudio, que incrementa la exposición de los acantilados a la acción del oleaje. También es importante tener en cuenta el aumento de la altura de las olas durante los eventos de tormenta.

La acción antrópica influye en la evolución del acantilado a través del aumento de carga en el tope de los acantilados por construcciones y por aporte de agua. El frente acantilado presenta signos de escurrimiento subterráneo que se concentra sobre las capas más impermeables del paquete sedimentario. Esta situación es muy notable en la zona urbana, donde en relación con este escurrimiento crece vegetación que tapiza el frente acantilado, notándose la presencia de materia orgánica restringida a esta zona, lo cual indica su relación con el aporte de aguas servidas. Las condiciones geológicas / estructurales de los acantilados favorecen la caída de rocas. El disparador principal de estos eventos es el impacto de las olas sobre el frente acantilado, pero la vibración producida por el paso de vehículos también puede ser importante.

Al pie de los acantilados se halla una extensa plataforma litoral que por tramos es cubierta por una playa de arena. La erosión se desarrolla sobre afloramientos de la Formación Gran Bajo del Gualicho, muy meteorizada en la zona más alta, que presenta dos zonas claramente diferenciadas en el perfil analizado, una relativamente homogénea de aproximadamente 7 m de espesor con algunos horizontes tobáceos y por debajo un horizonte fosilífero con abundantes trazas. Este horizonte tiene un comportamiento mecánico distinto y es más susceptible a la erosión que el que se encuentra por encima. La plataforma litoral fue labrada sobre este horizonte fosilífero. Al pie, el acantilado presenta una muesca que tiene más de 1,00 m de altura e indica hasta donde llega la erosión marina.

La plataforma litoral actual presenta dos niveles, el más alto ubicado al pie del acantilado tiene unos 50 m de ancho, y el ubicado a unos 30 cm más abajo completa un ancho total de unos 270 metros (*Kokot y Chomnalez 2012*). Presenta como rasgos característicos, canales de erosión perpendiculares a la línea de costa y también aparecen resaltos debidos al control estructural que ejercen algunos bancos más duros. Sobre la misma se hallan bloques de variado tamaño, producto de la remoción en masa asociada con los procesos erosivos y algunos pilares marinos.

Sobre el acantilado se observa una plataforma litoral elevada sobre cuya superficie se observan diaclasas. Aún se observan rasgos de la superficie original, hoyos de marmita y canales, pero muy desdibujados por la meteorización y erosión subárea. Sobre la misma se hallan cordones litorales arenos gravosos con presencia de moluscos fósiles en buen estado de conservación. Dunas, que marcan el límite con el área urbana, cubren a los cordones litorales.

Kokot y Chomnalez (2012) compararon la posición de la línea de costa de Las Grutas entre los años 1969 y 2008 verificando que la misma retrocedió entre 1,00 m y más de 3,00 m en 39 años. Estos valores corresponden a velocidades medias de retroceso costero de 2,5 cm/año hasta 7,7 cm/año para ese período. En la zona céntrica de Las Grutas, el sector comprendido entre las denominadas Bajada 1 y Bajada 0 (Figura 3), es el que más se vio afectado por procesos erosivos, asimismo en la Bajada 2 el retroceso también fue importante. También la erosión fue mayor en relación con la presencia de las piletas que se efectuaron sobre la plataforma litoral.

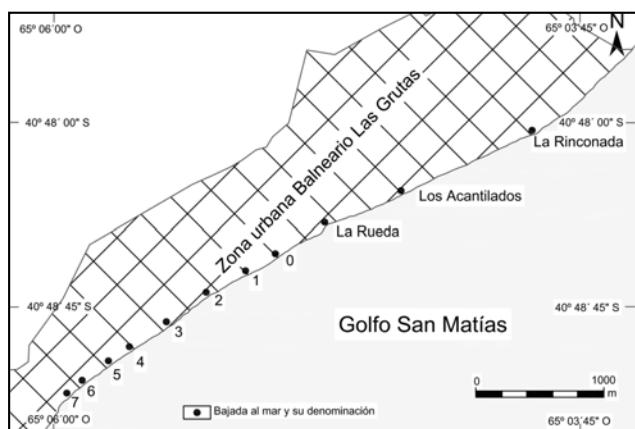


Figura 3. Ubicación de las bajadas a la playa en el Balneario Las Grutas.

Hacia el Este, a partir de la Bajada Los Acantilados y La Rinconada, el retroceso fue menor, alcanzando el valor de 1,00 m en 39 años.

Asimismo, el frente de las plataformas litorales retrocedió en forma no homogénea, pero superando la velocidad de retroceso del acantilado ya que en sectores de la zona céntrica retrocedió más de 8 m en los últimos 39 años a una velocidad promedio de unos 20 cm/año.

Al considerar la evolución costera, además del período considerado, deben tomarse en cuenta las variaciones del nivel del mar ocurridas durante el Cuaternario y las evidencias geológicas y morfológicas de dichas fluctuaciones. El nivel del mar osciló como consecuencia del accionar de múltiples variables, entre ellas las glacieustáticas y evidencia de ello es la presencia de terrazas marinas formadas durante los períodos interglaciaríos. Entre ellas, la terraza marina pleistocena correspondiente al Mis-5 y las terrazas marinas holocenas. Durante la última glaciaciación, hace unos 18000 años AP, el nivel del mar estaba unos 120 m por debajo del actual. En una etapa posterior y en relación con el fin del último período glaciario el nivel del mar se elevó rápidamente, superando hace unos 6000 años AP el nivel actual, en unos 6m. Luego el mar descendió hasta el nivel actual, pero no de manera continua. En relación con

estas oscilaciones se produjeron ingestiones y regresiones marinas que permiten reconstruir la historia geológica local.

El área costera de Las Grutas está ligada a la evolución geomorfológica de la Bahía de San Antonio, donde se registra la existencia de geoformas de acumulación marinas pleistocénas y holocenas ligadas a la ingresión marina sobre un gran bajo de deflación. *Kokot y Chomnalez (2012)* mencionan la existencia de cordones litorales pleistocenos en el área de Las Grutas, relacionados con la terraza marina pleistocena de San Antonio Oeste (*Kokot y Favier Dubois 2009*).

RESULTADOS

Caracterización, mediciones y toma de muestras in situ:

Se presenta un perfil de detalle (Figura 4) con la morfología del acantilado, caracterización de discontinuidades en el área de estudio y estimación de la resistencia a la compresión uniaxial según mediciones in situ efectuadas en las distintas facies reconocidas.

Observaciones efectuadas en el Balneario La Rinconada muestran un acantilado de tipo activo donde en la base aflora una roca con marcada estratificación horizontal, alto porcentaje de oquedades y fuerte bioturbación correspondiente a una arenisca con un espesor mínimo de 1,8 m denominada facies 1, la cual hacia el techo se encuentra en contacto con una roca de aspecto masivo correspondiente a una toba con un espesor de 7 m aproximadamente, denominada facies 2. Estas dos facies corresponden a la Formación Gran Bajo del Gualicho (*Lizuain y Sepúlveda 1978*) y se ven afectadas por diaclasas. Dicha Formación se encuentra hacia el techo en contacto erosivo con un depósito de cordones litorales de 2 m de espesor aproximadamente y a su vez esta se encuentra, hacia el tope del perfil, en contacto erosivo con un depósito de dunas de espesor muy variable, que presenta en este sector, un espesor de al menos 10 m.

Se describió la estructura del perfil de detalle estudiado, la cual se caracteriza por la presencia de cuatro familias de discontinuidades, sumada a la estratificación primaria subhorizontal. Estas familias afectan a las facies 1 y 2 y se encuentran también en la plataforma litoral, lo cual indica que no son diaclasas de relajación. En la Tabla 4 se indica la orientación del acantilado y las principales discontinuidades y en la Figura 5 se representan en una red estereográfica.

Tabla 4. Orientación de las discontinuidades y del acantilado.

Discont / Acant	Azimut (°)	Î (°)
Acantilado	250	90
Familia 1	214	90
Familia 2	112	90
Familia 3	184	90
Familia 4	131	90

Cabe destacar que existe una variación de la inclinación de las discontinuidades subverticales a lo largo del acantilado mostrando inclinaciones menores.

Las características de las discontinuidades permiten definir que los mecanismos de ruptura más probables corresponden a la caída de rocas y a deslizamientos en cuña donde la

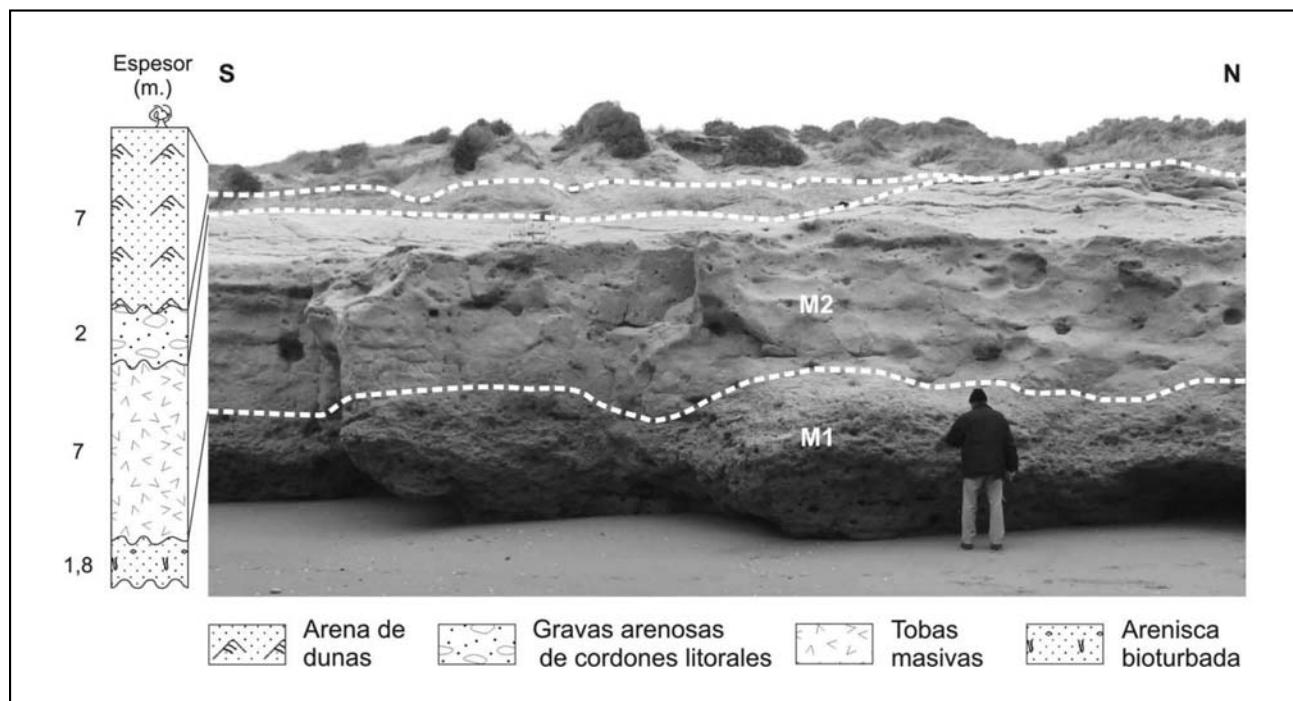


Figura 4. Perfil de detalle correspondiente al Balneario La Rinconada. Se ilustra la correspondencia entre la toma de muestras y la litología.

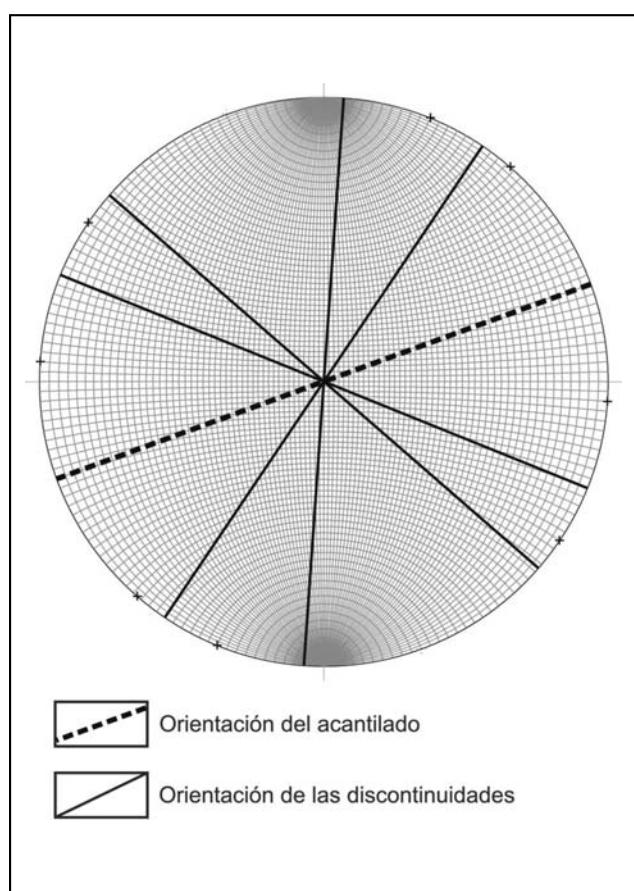


Figura 5. Representación estereográfica de las discontinuidades y del acantilado.

inclinación es menor a 90°. Se destaca el hecho de que estas discontinuidades favorecen la meteorización localizada por las influencias del agua de mar y el agua subterránea (en área urbana), esta conjunción de aspectos, sumada a la presencia de socavación al pie, constituye el principal factor de inestabilidad de estos acantilados.

La morfología del acantilado se caracteriza por presentar una muesca bien definida en el sector donde la facies 1 se encuentra expuesta a la zona de embate de olas y por otro lado una serie de cuevas con variada morfología y dimensiones donde la facies 2 se encuentra expuesta a la zona de embate de olas. La muesca es continua y presenta poca variación de la altura, 0,80 m aproximadamente.

Pueden observarse dos tipos de cuevas marinas, cuya génesis se atribuye a la erosión localizada en áreas de debilidad dadas por el cruce de diaclasas o por la intersección de diaclasas con planos de estratificación o discontinuidades horizontales. Los principales rasgos morfológicos del área acantilada y los dos distintos tipos de cuevas pueden observarse en la Figura 6.

Se obtuvo una aproximación de la resistencia uniaxial a partir de dos métodos expedivos: determinación de la dureza relativa (ISRM 1981) y mediante la utilización de un esclerómetro, con las escalas indicadas en la Tabla 4, que permitieron obtener una aproximación al rango de resistencia a la compresión simple en los diversos sectores del afloramiento.

Para la caracterización geotécnica cuantitativa de los materiales involucrados en el fenómeno de erosión presente en la zona se tomaron tres muestras representativas. Dos muestras se extrajeron del sector de los acantilados del Balneario La Rinconada de Las Grutas (Figura 4) denominadas M1 y M2. El afloramiento correspondiente a la M1 se trata de un depósito clástico color gris, de 1,8 m de espesor mínimo y estratificación horizontal. Sobrepone al depósito anterior por medio de

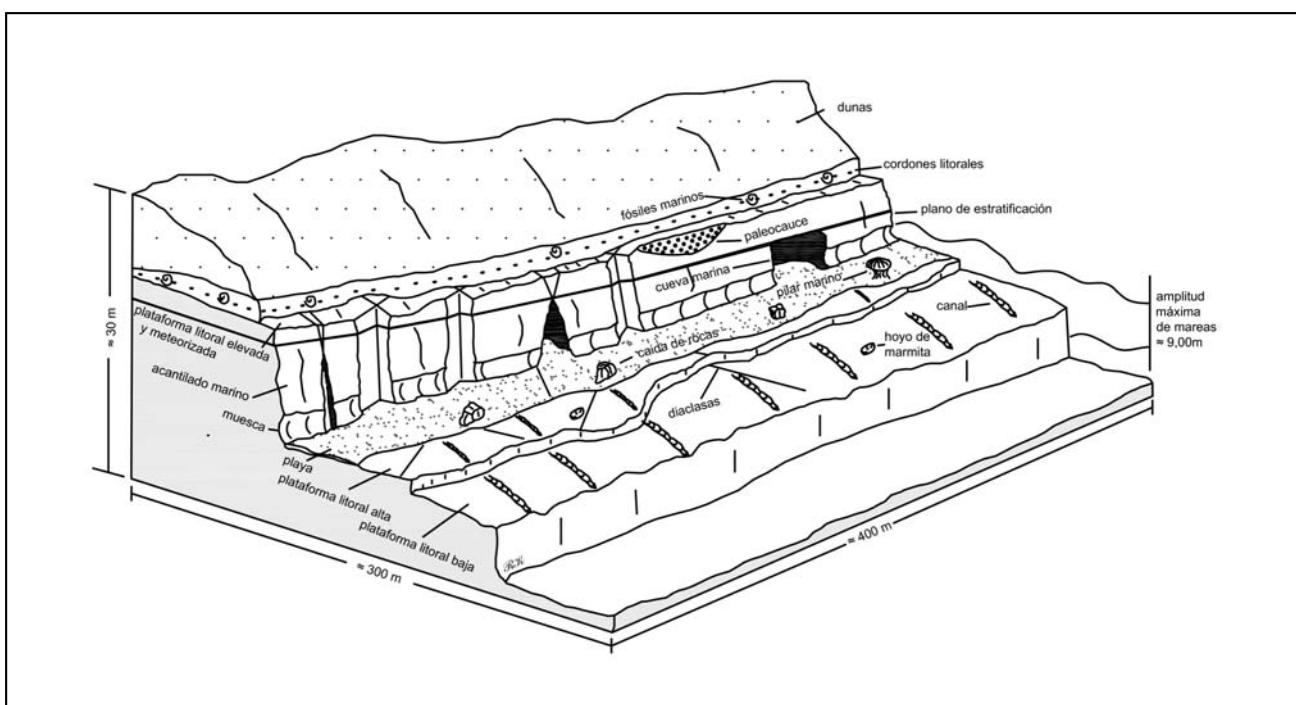


Figura 6. Principales rasgos morfológicos del área costera de Las Grutas.

Tabla 5. Estimación de la dureza relativa (ISRM 1981) y resistencia a la compresión simple por medio de un esclerómetro para rocas. * Se utilizó el diagrama de clasificación de las rocas teniendo en cuenta el valor de la densidad seca obtenido en laboratorio.

Muestra	Clase ISRM (1981)	Descripción	Identificación de Campo	Aprox. al rango de resistencia a compresión simple (MPa)	Resistencia a la compresión (MPa)*
M1	R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo	1-5	42
M2	R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo	1-5	60
M3	R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla	100-250	275

un contacto erosivo, otro volcanoclástico de aspecto masivo con un espesor de 7 m y de color gris claro, correspondiente a la muestra M2. La tercera muestra (M3), de composición granítica se extrajo del paraje Piedras Coloradas, y corresponde al Granito Piedras Coloradas (*Sato et al. 1998*) que consiste en un afloramiento de escaso relieve y extensión areal configurando una saliente en un área de costa rectilínea. El procedimiento para extracción de muestras fue mediante el hincado de puntas de acero en diferentes direcciones y extracción de bloques irregulares de roca.

Resultados de laboratorio:

Se realizó una descripción cuantitativa de las propiedades de la matriz rocosa, tanto de propiedades de identificación y clasificación como de propiedades mecánicas, las cuales presentan información relevante para fines geotécnicos. Los ensayos realizados en el laboratorio tuvieron como objetivo determinar la petrografía, el contenido de humedad, la porosidad, la absorción de agua, la densidad específica, resistencia a la compresión

simple y velocidad de ondas sónicas. Para el desarrollo de estos estudios, las muestras llegadas al laboratorio fueron caladas en forma de testigos cilíndricos con broca diamantada, posteriormente con disco diamantado fueron paralelizadas las bases para la ejecución de los ensayos (Figura 7).

Se realizaron las descripciones petrográficas de las tres muestras estudiadas (Figura 8).

Muestra M1: Arenisca cuarzosa, matriz sostén: Compuesta de areniscas cuarzosas bien seleccionadas de grano fino, subredondeados, con elevada porosidad y permeabilidad. En la fracción clástica (80% del total de la roca), el cuarzo es el componente mayoritario (55%). Dentro de los feldespatos (30%), predominan plagioclasa y ortosa. Los fragmentos líticos (10%), corresponden a rocas sedimentarias, deformados y con contornos difusos. Se observan láminas micáceas (5% de la fracción clástica). La matriz (20%) del depósito corresponde a arena muy fina. La porosidad es moderada y estaría principalmente constituida por microporos alojados en el material arcilloso. Se observa la presencia de bioclastos (o fósiles).

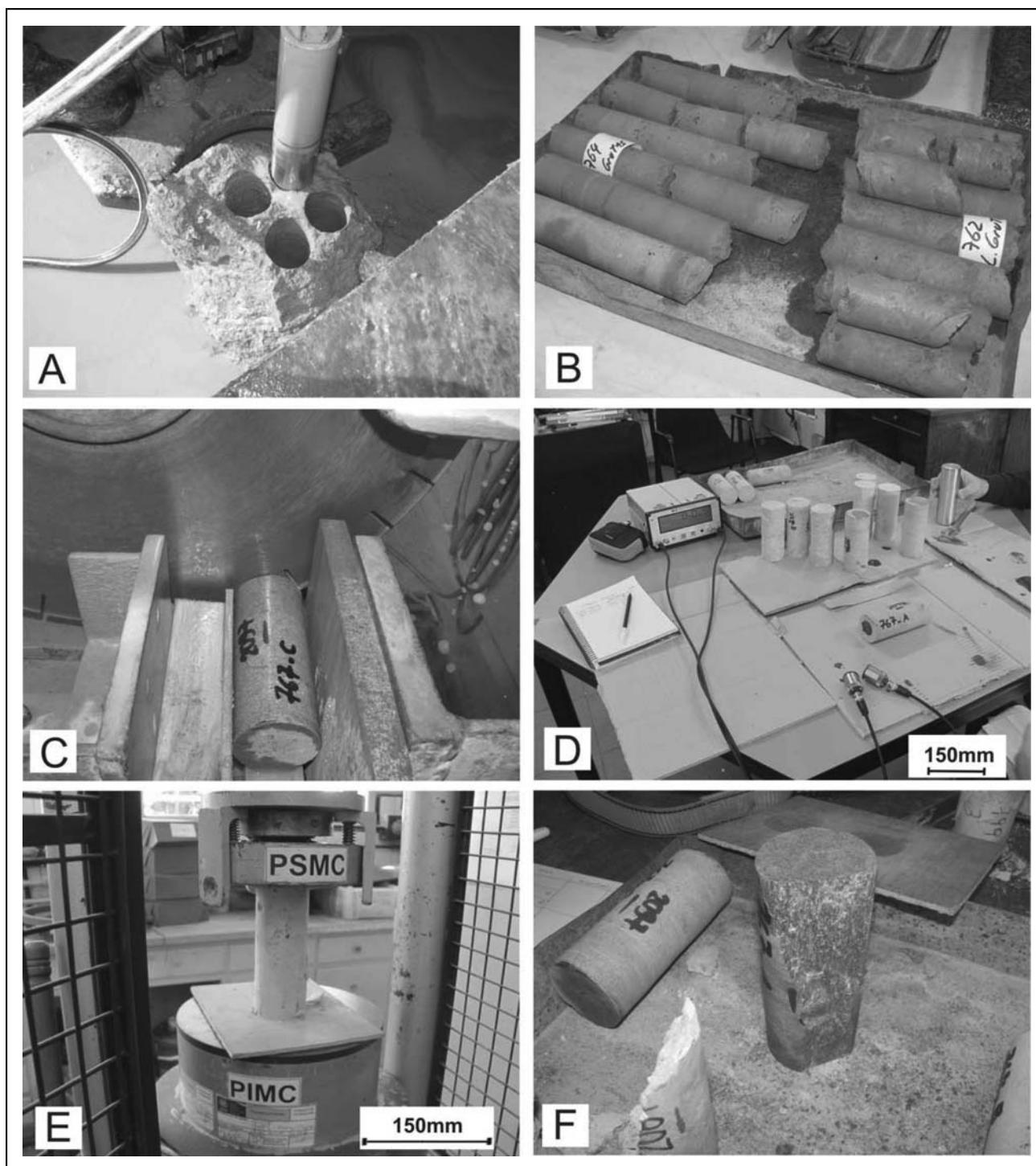


Figura 7. A) Extracción de testigos, B) Testigos, C) Paralelizado de bases, D) Propagación de ondas sónicas, E) Ensayo de compresión simple, F) Rotura de Testigos.

Muestra M2: Toba lapillítica masiva: Está formada por una matriz de grano fino, fragmentos de cristales y líticos. Los cristaloclastos poseen tamaños menores al milímetro. Los litoclastos son menos abundantes que los cristaloclastos. La matriz es de color blanco y parece ser vítrea. Al microscopio, se observan cristaloclastos, vitroclastos y litoclastos inmersos en una matriz vítrea, formada principalmente por polvo y ceniza volcánica. La proporción de matriz y porfiroclastos es similar, con trizas de moderado grado de soldadura. Los fragmentos vítreos

(55%) corresponden a fragmentos de trizas y pómez, las mismas constituyen parte de la fracción piroclástica más fina de la roca. Los cristaloclastos (35%) están representados por cuarzo, que es el más abundante, plagioclasa y biotita. Además, se observan óxidos de hierro. Los fragmentos líticos son escasos (10%), corresponden a litoclastos de rocas sedimentarias.

La matriz de la roca es vítrea. Está formada principalmente por polvo y ceniza volcánica.

Muestra M3: Granito: Este granito se caracteriza por ser de color rosado con textura granosa fina constituida por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y minerales maficos cuyos tamaños oscilan entre 0,5 y 2 milímetros. Microscópicamente, la roca posee textura granosa alotriomorfa predominantemente con sectores donde se observa una textura aplítica, constituida por plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico. Como mineral accesorio característico se presenta biotita y junto con otros menores como epidoto y opacos distribuidos en forma homogénea. Son anhedrales y subhedrales de tamaños menores al milímetro. En algunos sectores se observan como crecimiento primario, agregados microcristalinos de feldespato potásico y cuarzo.

El contenido de humedad se determinó bajo la Norma IRAM 10601 (1986) en la cual se obtiene el contenido de agua de la muestra por secado en estufa. La muestra es un trozo irregular de roca.

Los parámetros de absorción de agua, densidad y porosidad se obtuvieron sobre la base de la norma ASTM C-97 (2009), en la cual se miden el peso seco, saturado suspendido y saturado con superficie seca. La muestra corresponde a testigos

cilíndricos de 54 mm de diámetro y 150 mm de longitud aproximadamente.

La velocidad de propagación de ondas sónicas se determinó bajo la Norma ASTM D 2845 (2008) en la cual se mide el tiempo que tardan los pulsos de ondas en atravesar los testigos. El equipo utilizado corresponde al modelo V-Meter MK II, de la marca James Instruments con un rango de medición de 0,1 microsegundos hasta 6400 microsegundos. La muestra corresponde a testigos cilíndricos de 54 mm de diámetro y 150 mm de longitud aproximadamente.

La resistencia a la compresión simple se obtuvo siguiendo la metodología de la Norma IRAM 10607 (2008) en la cual se determina la presión a la cual rompen los testigos cuando se someten a la carga de una prensa. Para la obtención de muestras saturadas en agua, el tiempo de inmersión fue de 48 hs. El equipo utilizado corresponde a una prensa para ensayos mecánicos de compresión simple, Marca CIFIC, con escalas de trabajo 0-2000 kN y 0-200 kN y de resolución de 0,1 kN y 0,01 kN. La muestra corresponde a testigos cilíndricos de 54 mm de diámetro y 150 mm de longitud aproximadamente.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de los parámetros geotécnicos analizados para las tres muestras.

Tabla 6. Resultados de laboratorio de muestras representativas del área de estudio.

Parámetro	Contenido Muestra de humedad (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente seca (g/cm ³)	Porosidad (%)	Velocidad de ondas sónicas (m/s)	Resistencia a la compresión simple-seca (MPa)	Resistencia a la compresión simple-saturada (MPa)
M1	23,2	49,70	1,19	58,96	842,7*	1,9	---
M2	25,1	49,03	1,11	54,56	1135,0	3,9	1,1
M3	0	0,32	3,06	0,98	5630,9	130	121

* Los valores menores a 900 m/s son indicativos de rocas alteradas y/o meteorizadas

** Las probetas en condición saturada se disgregaron completamente.

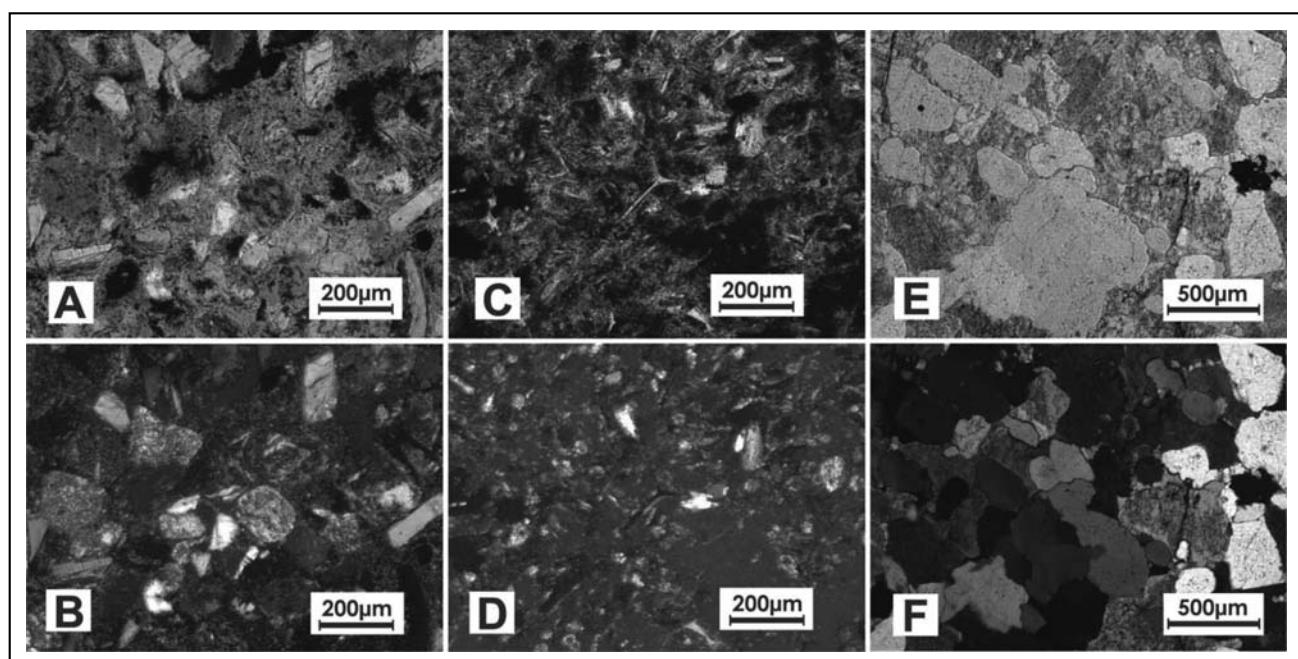


Figura 8. Microfotografías de las muestras con una magnificación de 100x y 50x. A) M1 sin polarizador, B) M1 con polarizador, C) M2 sin polarizador, D) M2 con polarizador, E) M3 sin polarizador y F) M3 con polarizador.

DISCUSIÓN

Los resultados permiten desarrollar una serie de consideraciones:

Como era de esperarse los valores de la resistencia uniaxial y los de velocidad de propagación de ondas sónicas presentan una correlación de tipo lineal.

Los valores de la resistencia a la compresión uniaxial de M1 y M2 son muy bajos, pero existe una diferencia entre ambos del orden de un 50 %. Teniendo en cuenta que las demás propiedades analizadas presentan valores muy similares, se infiere que la diferencia mencionada correspondiente a la matriz rocosa, está dada exclusivamente por la composición litológica.

El comportamiento del macizo rocoso, condicionado por las discontinuidades, se ve afectado por condiciones estructurales muy similares, exceptuando la estratificación horizontal más importante para la facies 1.

Los valores del contenido de humedad, permiten obtener una primera aproximación a los valores de grado de saturación de las rocas expuestas al agua de mar, arrojando valores de un 50% aproximadamente, indicando una afectación homogénea de la Formación Gran Bajo del Gualicho. Sin embargo en el área céntrica (bajadas 2 a 7) las rocas se encuentran

saturadas la mayor parte del tiempo por aporte de aguas urbanas.

A partir de los resultados expuestos en la tabla 6 puede deducirse que en el caso de las tobas la disminución de la resistencia a la compresión simple en condición saturada es de un 71,8% y en las areniscas la resistencia disminuye aún más.

La comparación de los resultados de dos localidades con litologías distintas permitió testear la correspondencia entre resistencia a la erosión dada por la resistencia a la compresión simple y el retroceso costero. El sector denominado Las Grutas norte corresponde a las bajadas de La Rueda y Los Acantilados, mientras que el sector sur corresponde a las bajadas restantes (Figura 3)

Los valores de resistencia obtenidos para los granitos corresponden a resistencias muy altas, en tanto que para las tobas son bajos y para las areniscas muy bajos. Estos bajos valores de resistencia a la compresión simple se relacionan directamente con el mayor retroceso de la línea de costa (Tabla 7).

La zona céntrica se corresponde con un macizo rocoso afectado por la presencia de agua de origen antrópico, mayor meteorización y una matriz rocosa con muy baja resistencia a la compresión simple mientras en la zona de La Rueda tiene una mayor resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

Tabla 7. Tasas de erosión en relación con la litología.

Localidad	Tasa de erosión 1969 -2008 (cm/año)	Litología	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia a la compresión simple saturada (MPa)
Piedras Coloradas	Muy baja	Granito	130	121
Las Grutas sur	7,7	Arenisca	1,9	Muy baja
Las Grutas norte	2,5	Toba	3,9	1,1

CONCLUSIONES

- Los sectores constituidos con rocas de mayor resistencia a la compresión simple indicaron un menor retroceso de la línea de costa durante el período estudiado: en el área de Piedras Coloradas la costa no muestra un retroceso apreciable, mientras que en el balneario Las Grutas el retroceso costero es mayor, diferenciándose dos zonas: zona sur con máximo retroceso costero y zona norte donde el retroceso costero es un poco menor.
- El retroceso costero está influido en mayor medida por la resistencia a la compresión simple de los afloramientos, en correspondencia directa con la litología.
- Los valores de resistencia a la compresión simple obtenidos son: Granitos 130 MPa, Tobas 3,9 MPa y Areniscas 1,9 (MPa)
- En zonas de litología homogénea se observó que la mayor erosión coincide con sectores donde las rocas se encuentran saturadas de agua.
- Los valores de resistencia a la compresión simple se ven influidos en gran medida por la elevada porosidad y absorción de agua, de las rocas aflorantes en la zona de

Las Grutas. En el caso de las tobas la disminución a la resistencia a la compresión simple en condición saturada es de un 71,8% y en las areniscas es aún mayor.

- Los valores obtenidos a partir del uso del esclerómetro presentan limitaciones. Respecto a las rocas con altos valores de resistencia a la compresión simple los resultados salen de escala y en las rocas de baja resistencia dan valores mayores que los reales. Sin embargo existe una correspondencia cualitativa entre los valores de resistencia de las litologías estudiadas.
- Es importante la influencia del grado de meteorización y la humedad de los afloramientos que presentan las rocas cuando se estima la resistencia con el martillo de Schmidt. No ha habido dispersión en los valores obtenidos en el campo.
- A partir del conocimiento de las tendencias evolutivas del área de estudio, y el desarrollo de estudios geotécnicos cuantitativos se pudo relacionar las características geológicas, geomorfológicas, estructurales y geotécnicas. Los resultados son de utilidad para el desarrollo de estudios de peligrosidad y riesgo geológico con el fin de mejorar el manejo costero del área en un escenario susceptible a la erosión.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ANGULO, R., FIDALGO, F., GÓMEZ PERAL, M., Y SCHNACK, E., 1978.
Las ingestiones marinas Cuaternarias en la Bahía de San Antonio y sus vecindades, provincia de Río Negro.
Actas 7º Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, 271-283.
- ASTM C 97, 2009.
Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone.
- ASTM D 2845, 2008.
Standard Test Methods for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rocks.
- BROSSARD, J. Y DUPERRET, A., 2004.
Coastal chalk cliff erosion: experimental investigation on the role of marine factors.
En: Mortimore, R. N. y Duperret, A. (eds) 2004. Coastal Chalk Cliff instability (v. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications) 20, 109-120.
- BULLOCK, G.N., HEWSON, P., CRAWFORD, A.R. Y BIRD, P.A.D., 1999.
Field and laboratory measurements of wave loads on vertical breakwaters.
Proceedings Coastal Structures, 99, Santander, Spain, 613-622.
- DRAGANI, W., SPERONI, J. Y D'ONOFRIO, E., 2008.
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 a-b-30 (GEF-Patagonia). 23a Reunión Científica de Geofísica y Geodesia (AAGG), Ciudad de Bahía Blanca, 25 p.
- ESCOFET, A; ORENSANZ, O., 1977.
Biocenología Bentónica del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina): Metodología, experiencias y resultados del estudio ecológico de un gran espacio geográfico en América Latina.
Análisis del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 18 p.
- GELÓS, E., SCHILLIZZI, R., Y SPAGNUOLO, J., 1993.
El Cenozoico de la costa norte del Golfo San Matías, Río Negro.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 47: 135-140.
- GIACOSA, R., 1993.
El ciclo eruptivo Gondwánico en el área de Sierra Pailemán, Macizo Nordpatagónico, Argentina.
Duodécimo Congreso Geológico Argentino y Segundo Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 4: 113-119.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., FERRER, M., ORTUÑO, L. Y OTEO C., 2002.
Ingeniería Geológica.
Pearson Educación, 744 pp. Madrid.
- HARRINGTON, H., 1962.
Paleogeographic development of South America.
American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 46: 1773-1814.
- IRAM 10601, 1986.
Mecánica de rocas.
Método de determinación de agua.
- IRAM 10607, 2008.
Geotecnia.
Método de determinación de la resistencia a la compresión uniaxial, del módulo de elasticidad y del coeficiente de Poisson en probetas de roca.
- ISRM, 1981.
Rock Characterization. Testing and monitoring. ISRM suggest methods. (E.T. Brown Ed.).
International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press, 211pp. Oxford.
- KOKOT, R., 1999.
Cambio climático y evolución costera en Argentina.
Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2Vol , 254 pp.
- KOKOT, R. Y CHOMNALEZ, F., 2012.
Retroceso de la línea de costa en Las Grutas, provincia de Río Negro.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 69(1): 88-96.
- KOKOT R.R. Y FAVIER-DUBOIS, C.M., 2009.
Evolución geomorfológica de la bahía de San Antonio (Río Negro, Argentina). Su importancia para el registro de ocupaciones humanas.
IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, p 125. La Plata.

- KOKOT, R., ANGARAMO, D. Y VALLADARES, A., 2011.
Costa y ribera en Claromecó.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. 68: 71-83.
- KOKOT, R., CODIGNOTTO, J. Y ELISSONDO, M., 2004.
Vulnerabilidad de la Costa de la Provincia de Río Negro al Ascenso del Nivel del Mar.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59: 477-487.
- LIZUAIN, A., Y SEPÚLVEDA, E., 1978.
Geología del Gran Bajo del Gualicho, Provincia de Río Negro.
Actas 7º Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, 407- 422.
- MARTÍNEZ, H., NÁÑEZ, C., LIZUAIN, A., DAL MOLIN, C.Y TUREL, A., 2001.
Hoja Geológica 4166-II, San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro.
Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
Boletín 254, 32 p., Buenos Aires.
- MOREIRA, D., 2008.
Estudio de la circulación en los Gólfos Norpatagónicos.
Tesis de Licenciatura en Oceanografía. Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- PORRO, N., Y FIDALGO, F., 1981.
Descripción geológica de la Hoja 39j, San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro.
Servicio Geológico Nacional (inédito), 542 pp., Buenos Aires.
- RICE, E R.J., 1983.
Fundamentos de Geomorfología.
Paraninfo. 392 pp. Madrid.
- RÍO NEGRO, 2006.
Río Negro y Neuquén - Patagonia Argentina on line.
Disponible en <http://www1.rionegro.com.ar/arch200602/08/v08j50.php>, último acceso 15 de abril de 2013.
- RIVAS, A., 1990.
Heat balance and annual variations of mean temperature in the North-Patagonian gulfs.
Acta Oceanológica, 13 (3): 265-272 .
- SATO A.M., TICKYJ H. Y LLAMBÍAS E.J., 1998.
El Basamento Igneo-Metamórfico del Área de Las Grutas, Provincia de Río Negro, Argentina.
Xº Congreso Latinoamericano de Geología y VIº Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 65-70,
Buenos Aires.
- SCASSO, L. Y PIOLA, A., 1988.
Circulación en el Golfo San Matías, 33-51.
Servicio de Hidrología Naval, Departamento de Oceanografía. GeoActa Vol. 15, Nº 1.
- SERVICIO DE HIDROLOGÍA NAVAL, 2012.
Tablas de Marea. Servicio de Hidrografía Naval.
En: <http://www.hidro.gob.ar/Oceanografia/Tmareas>
- SUNAMURA, T., 1976.
Feedback relationship in wave erosion of laboratory rocky coast,
The Journal of Geology, 84, 427-437.
- SUNAMURA, T., 1977.
A relationship between wave-induced cliff erosion and erosive force of waves,
The Journal of Geology, 85, 613-618.
- SUNAMURA, T., 1992.
Geomorphology of Rocky Coasts.
John Wiley & Sons, 302 p. Chichester.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002.
Coastal Engineering Manual (CEM), (6 Vols.).
Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- ARELA, R., CINGOLANI, C., SATO A., DALLA SALDA, L., BRITO NEVES, B.B., BASEI, M.A.S., SIGA JR, O. Y TEIXEIRA, Y.W., 1997.
Proterozoic and Paleozoic evolution of Atlantic area of North-Patagonian Massif, Argentina.
South-American Symposium on Isotope Geology, Acta: 326-329, San Pablo.
- WOLTERS, G. Y MULLER, G., 2004.
The propagation of wave impact induced pressures into cracks and fissures.
In: *Moraymore, R.N. y Duperret, A. (eds.) Coastal Chalk Cliff Instability, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication, 20, 121-130*.