

**DINÁMICA COSTERA Y BASES PARA EL  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN EL BALNEARIO  
BAHÍA CREEK, PROVINCIA DE RÍO NEGRO**



**Trabajo Final de Licenciatura**

**Mauricio Toffani**

**Director: Alberto Tomás Caselli**

**2018**

## **RESUMEN**

El presente trabajo final de licenciatura se desarrolla entre las localidades costeras de Bahía Creek y Caleta de los Loros, ubicadas al NE de la provincia de Río Negro. Comprendió el estudio geológico y geomorfológico de la zona para conocer la dinámica del sistema. Teniendo en cuenta las alteraciones que puede causar la población o los peligros a los que puede estar expuesta, se propuso una zonificación del territorio con el fin de poder establecer las bases para el ordenamiento territorial de la zona.

Dentro de los rasgos geomorfológicos más destacados se encuentran las dunas, el acantilado y la extensa llanura de mareas. Los dos primeros son de vital importancia a la hora de estudiar el peligro geológico, por su retroceso en el caso de los acantilados o su avance en el caso de las dunas.

El acantilado está conformado por depósitos de las formaciones Río Negro y Tehuelche y posee moderadas estructuras. Las dunas presentan una gran variedad de morfologías y están compuestas mayormente por arenas finas y medias muy bien seleccionadas. A su vez algunas muestras estudiadas al microscopio se clasificaron como litoarenita feldespática y feldarenita lítica.

Mediante la realización de un índice de vulnerabilidad para el retroceso del acantilado se constató que este presenta baja vulnerabilidad, mientras que las dunas en las cercanías al pueblo de Bahía Creek presentan una tasa de avance media de 2,4 m/año con valores superiores a los 10 m/año y sentido general de avance hacia el SE y ENE. Esto hace que la mayoría de las casas se ubiquen en una zona intangible, no recomendada para edificaciones. Por lo tanto se propone un nuevo sitio para el futuro desarrollo de la localidad balnearia de Bahía Creek, ubicado a escasos kilómetros al este del existente.

## **ABSTRACT**

The present final degree project is developed between the coastal locations of Bahía Creek and Caleta de los Loros, located NE of the Río Negro province. It was developed the geological and geomorphological study of the area to know the dynamics of the system. Taking into account the alterations that the population may cause or the hazard to which it may be exposed, a zoning of the territory was proposed in order to be able to establish the bases for the land use planning.

Among the most outstanding geomorphological features are the dunes, the cliff and the extensive tidal plain. The first two are of vital importance at the time of studying the geological hazard, due to its retreat in the case of the cliffs or its advance in the case of the dunes.

The cliff is formed by deposits of the Río Negro and Tehuelche formations and has moderate structures. The dunes have a great variety of morphologies and are mostly composed of fine and medium sand, very well selected. At the same time, some samples studied under the microscope were classified as feldespatic lithoarenite and lithic feldarenite.

By carrying out a vulnerability index for the backward movement of the cliff, it was found that it presents low vulnerability, while the dunes in the vicinity of the town of Bahía Creek show an average rate of 2.4 m /year with values higher than 10 m /year and general direction of progress towards the SE and ENE. This means that most of the houses are located in an intangible zone, not recommended for buildings. Therefore, a new site is proposed for the future development of Bahía Creek town, located a few kilometers east of the existing one.

## **Índice**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
1.1. Objetivos .....	3
1.2. Ubicación del área de estudio .....	3
1.3. Población y economía local .....	5
1.4. Metodología empleada .....	7
<b>2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO</b> .....	9
2.1. Clima .....	9
2.2. Oleaje y deriva litoral asociada.....	9
2.3. Marea.....	10
2.4. Cambio absoluto del nivel del mar .....	10
2.5. Suelos .....	11
2.6. Hidrografía – Hidrogeología.....	11
2.7. Flora y fauna.....	12
<b>3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE BAHÍA CREEK Y CALETA DE LOS LOROS</b> .....	14
3.1. Marco Geológico .....	14
3.1.1 Síntesis de la estratigrafía de la región.....	15
3.1.2 Historia geológica (Mioceno tardío – Holoceno).....	18
3.2. Geología del área de estudio .....	19
3.3. Análisis estructural del acantilado en la zona de estudio .....	22
<b>4. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE BAHÍA CREEK Y CALETA DE LOS LOROS</b> .....	25
4.1. Antecedentes Geomorfológicos .....	25
4.2. Estudio geomorfológico .....	26
4.2.1. Geformas costeras.....	26
4.2.2. Geformas eólicas .....	33
4.2.3. Geformas continentales.....	46
<b>5. ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS LITORALES</b> .....	47
5.1. Metodología .....	47
5.2. Resultados .....	49

5.3.	Discusión de los resultados.....	65
<b>6.</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE PROCEDENCIA DE MODAS DETRÍTICAS .....</b>	<b>69</b>
6.1.	Metodología .....	69
6.2.	Resultados .....	69
6.3.	Discusión.....	70
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE PELIGRO .....</b>	<b>75</b>
7.1.	Retroceso del acantilado.....	75
7.2.	Cálculo de los índices de Peligro e Impacto en el retroceso del acantilado.....	76
7.2.1	Resultados y discusión.....	82
7.3	Avance del campo de dunas .....	91
7.3.1	Acción del viento.....	92
7.3.2	Migración dunas cercanas a las construcciones de Bahía Creek .....	103
7.3.3	Discusión general .....	109
<b>8</b>	<b>ORDENAMIENTO TERRITORIAL .....</b>	<b>111</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>124</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente Trabajo Final de Licenciatura pretende estudiar la dinámica costera del Balneario Bahía Creek, en la provincia de Río Negro, que es uno de los sitios de veraneo que en la actualidad visita fundamentalmente gente de las localidades de Viedma y Patagones, con fines turísticos y recreativos.

El área está sujeta al impacto de tormentas y mareas extraordinarias, al potencial retroceso del acantilado y al avance de dunas, que afectan o pueden afectar a las viviendas de la localidad. Estos fenómenos pueden ser causantes mayormente de pérdidas materiales y, en ciertos casos aislados, de muerte de personas. Para comprender la situación y plantear las bases de un ordenamiento territorial adecuado, y no generar con nuevas obras mal planificadas mayores daños, es necesario conocer el comportamiento o dinámica natural del sistema costero (dunas, acantilados, playa y caleta). Además es importante conocer los procesos marinos y eólicos que se desarrollan en el lugar, los cuales se ven afectados por factores naturales y antrópicos: cambio climático, ascenso del nivel del mar, construcción del poblado, obras antrópicas, entre otros.

### **1.1. Objetivos**

En el presente trabajo se pretende realizar una zonificación del territorio mediante un mapa de usos de la tierra, para así lograr un mejor uso del suelo y generar las bases para el ordenamiento territorial del lugar. Para lograr esto es necesario el estudio de la geomorfología y dinámica costera de la zona, sumado a las alteraciones antropogénicas y su influencia sobre la hidro – aerodinámica local, asociándolas al peligro geológico.

### **1.2. Ubicación del área de estudio**

Las costas de la provincia de Río Negro se extienden por un total de 360 km sobre el Océano Atlántico, representando un 10% del total del litoral marino argentino. Dentro de estas costas se ubica la localidad de Bahía Creek y Caleta de los Loros. Entre ellas hay poco más de 20 km de costa donde están representados acantilados marinos en distintos estados evolutivos, costas y

riberas modeladas por la acumulación marina y hacia el continente se extiende un extenso campo de dunas.

El área de estudio propiamente dicha se ubica en la porción norte del Golfo San Matías, al este de la provincia de Río Negro (Fig. 1.1), encontrándose Bahía Creek a los  $41^{\circ} 05' S$ ,  $63^{\circ} 56' O$ , y Caleta de los Loros a los  $41^{\circ} 01' S$ ,  $64^{\circ} 06' O$ . Se ubican en el departamento de Adolfo Alsina, 70 km al SO aproximadamente de la ciudad de Viedma, capital de la provincia.

La zona de estudio se comunica con Viedma por medio de la Ruta Provincial N° 1, o “Camino de la Costa”, que se encuentra pavimentada hasta la Localidad de La Lobería, situada a 57 km de la ciudad capital, mientras que hasta Bahía Creek hay otros 70 km más de ripio. También se puede acceder desde Viedma por el camino de “La Cuchilla” o Ruta Provincial N° 51 (casi en su totalidad de ripio). La otra posibilidad de comunicación con la ciudad de San Antonio Oeste y Viedma es a través de la Ruta Provincial N° 52. Esta nace en el área aledaña a Caleta de los Loros y une la Ruta Provincial N° 1 con la Ruta Nacional N° 3.

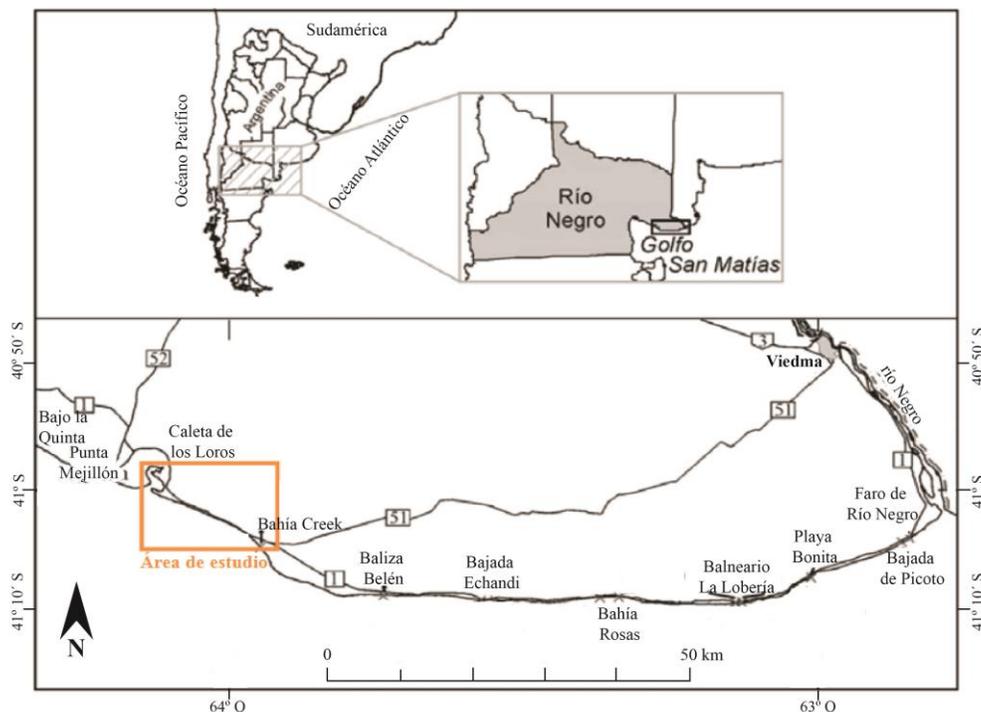


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio. Modificado de Del Río *et al.* (2007).

### 1.3. Población y economía local

Hacia fines del siglo XIX inicia el poblamiento de la zona, beneficiada a partir de la sanción de las leyes de inmigración y la construcción del ferrocarril desde San Antonio Oeste hasta Viedma, con el objetivo de desarrollar la actividad ganadera basada en la exportación de lana y cueros (López Alfonsín *et al.*, 2012; Fabregat, 2015). La ubicación de los asentamientos se relaciona fundamentalmente con las aguadas y el acuífero subterráneo (Picone, 2014). También hay pobladores, principalmente descendientes de pueblos originarios, en el área de los médanos de Bahía Creek (Fabregat, 2015).

A partir de la década de 1980 los pobladores de los médanos y zonas aledañas deciden radicarse en el Valle Inferior. Asimismo el área de Bahía Creek empieza a ser atractiva y a tener un fuerte capital simbólico como lugar de gran belleza paisajística, incidiendo en el proceso de construcción del espacio del litoral marítimo de Río Negro, a partir de las decisiones que se toman en Viedma (Fabregat, 2015).

Actualmente Bahía Creek posee muy escasa población de residencia permanente, con mayor presencia poblacional en el verano, asociada a la actividad turística, proveniente principalmente de la comarca Viedma – Patagones. Este grupo poblacional está atento a la posible mejora de la infraestructura y los servicios (López Alfonsín *et al.*, 2012). El resto es población rural dedicada a la actividad ganadera y no presenta grandes expectativas o inquietudes respecto al desarrollo turístico de la zona (López Alfonsín *et al.*, 2012). Por lo tanto el desarrollo de un apropiado ordenamiento territorial resulta clave para generar, mantener o afianzar la armonía entre estos dos grupos poblacionales.

Dentro de Bahía Creek se registra una población de 5 hombres únicamente y la población rural total del Departamento Adolfo Alsina es de 2250 personas. La tabla 1.1 muestra la población de Viedma, Carmen de Patagonia y Bahía Creek según los últimos censos del INDEC (2001 y 2010).

Ciudad	Censo 2001	Censo 2010
Viedma	46.948	52.789
Patagones	18.189	20.533
Bahía Creek	4	5
<b>Total</b>	<b>65.141</b>	<b>73.327</b>

Tabla 1.1. Evolución de la población según los últimos dos censos para las localidades de Viedma, Carmen de Patagones y Bahía Creek.

El incremento poblacional de esta área entre los dos períodos se encuentra en el orden del 13%. Esto hace que el crecimiento demográfico de Viedma y Patagones implique una mayor presión en el uso de su región costera proximal. Esta circunstancia los pone en una situación de vulnerabilidad ante fenómenos colaterales del proceso de retroceso de los acantilados costeros, en caso de realizar actividades turísticas o recreativas en el sector (del Rio *et al.*, 2004).

Dentro de las principales actividades realizadas por la población podemos encontrar el turismo y la recreación, la infraestructura local y la actividad agropecuaria y pesquera.

Dentro de los atractivos turísticos de la zona de estudio se pueden mencionar playas solitarias, no contaminadas ni masificadas, como lo es Bahía Creek y áreas naturales protegidas, dentro de las que se encuentra Caleta de Los Loros (López Alfonsín *et al.*, 2012).

A su vez, Bahía Creek funciona como una pequeña villa de fin de semana, formada inicial y principalmente por el desarrollo de la pesca deportiva. Cuenta con aproximadamente 45 viviendas, muchas construidas al borde del acantilado o muy próximas a las dunas. La infraestructura turística es mínima o inexistente. Solo alguna de las viviendas de Bahía Creek es puesta en alquiler temporario en verano y solo cuenta con escasos sitios de aprovisionamiento tipo almacén. Son justamente estos puntos, además de gastronomía, servicios, atractivos en la playa y estado de la ruta, los que deberían mejorarse según pobladores de la zona y gente relacionada al turismo (López Alfonsín *et al.*, 2012).

En cuanto a los servicios, la zona se abastece de gas natural a través de ramales derivados del gasoducto troncal del sur (del Rio *et al.*, 2004). En cambio, la electricidad, se genera con un grupo electrógeno (que solo alcanza para el alumbrado público) (López Alfonsín *et al.*, 2012).

La provisión de agua se logra mediante perforaciones que captan de un acuífero freático formado bajo los médanos. El acuífero está abastecido por la recarga de agua de lluvia en la zona de médanos, lo que hace prever un caudal bajo (López Alfonsín *et al.*, 2012).

Además los residuos son arrojados a un basural ubicado en los médanos, la mayoría de viviendas posee pozo ciego y la obtención de áridos para las construcciones es de la playa y el revuelto desde la cantera que utiliza Vialidad Rionegrina (López Alfonsín *et al.*, 2012).

La principal actividad productiva en la zona es la ganadera, inicialmente ovina y reemplazada paulatinamente desde la década de 1960 por la bovina (Picone, 2014). La actividad pesquera en

esta zona es más recreacional y deportiva que comercial (del Rio *et al.*, 2004). Además hay parcelas destinadas a la siembra de trigo (López Alfonsín *et al.*, 2012).

También resulta importante mencionar algunas leyes vinculadas a la temática del trabajo y a la población en general, como el artículo 74 de la Constitución de la provincia de Río Negro, que impone la necesidad de un Ordenamiento Territorial compatible con las necesidades generales de la comunidad. Además son de interés otras leyes provinciales como Ley Provincial de Costas – N° 2951 del 28/12/1995, Ley del Turismo y el Tiempo Libre – N° 2603 del 29/04/1993; Ley de Impacto Ambiental – N° 3266 del 16/12/1998; Ley de adhesión a los Principios del Desarrollo Sustentable – N° 2631 del 06/07/1993; Ley Provincial de Áreas Naturales Protegidas – N° 2669 del 29/07/1993; Ley Provincial de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de la Provincia – N° 3041 del 16/10/1996.

#### **1.4. Metodología empleada**

Aquí se explicará de manera general la metodología empleada en el presente trabajo, la cual será ampliada en los capítulos correspondientes a cada tema en particular.

En primera instancia, se realizó una recopilación bibliográfica para establecer las características más relevantes del medio natural y aquellas del medio socio – económico.

Posteriormente se obtuvieron fotografías aéreas del año 1986, modelos de elevación digital (DEMs) e imágenes satelitales de los años 2004 y 2011 correspondientes a *Google Earth* y *Bing Maps* respectivamente. Estas últimas fueron descargadas en forma de mosaico a través del programa *Universal Maps Downloader*. A su vez el mosaico confeccionado y las fotos aéreas fueron georreferenciados manualmente en el programa *Global Mapper* y una vez realizada esta tarea se procedió a la confección de los mapas correspondientes mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), particularmente *ArcGis*.

A su vez se hicieron dos visitas al campo, en octubre de 2016 y mayo de 2017, que permitieron constatar algunas características geológicas y geomorfológicas del lugar, así como también tomar muestras y sacar fotografías para comparar la situación de las dunas y el acantilado en los dos momentos.

Para caracterizar las condiciones hidrodinámicas del sistema se realizaron análisis granulométricos y texturales de sedimentos de playa, dunas, acantilado, paleoacantilado y caleta, recolectadas en los viajes de campo. A su vez de estos sedimentos se caracterizó su mineralogía y procedencia mediante la observación de secciones delgadas de granos sueltos.

Por otro lado se analizaron y compararon las características de tres tramos de costa acantilada del área de estudio, escogiendo variables fundamentales a partir de las cuales se utilizó un índice de vulnerabilidad capaz de caracterizar el riesgo de erosión y retroceso de los acantilados.

Finalmente, en base a los datos obtenidos, se realizó una zonificación preliminar del Balneario con fines de un futuro Ordenamiento Territorial y, basado en la tasa de migración de las dunas y el retroceso del acantilado, se plantearon posibles medidas de manejo territorial de manera tal que se incida en la menor medida posible en la dinámica del sistema y las obras antrópicas no resulten afectadas por la misma.

## **2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO**

### **2.1. Clima**

El área posee un clima semiárido a árido, con un régimen hídrico estépico y térmico pampeano, con amplitudes térmicas atemperadas (López Alfonsín *et al.*, 2012). Las temperaturas medias varían entre 10°C y 14°C, con máximas medias de 21,8°C en enero y mínimas medias de 9,5°C en julio. A su vez las temperaturas máxima y mínima registradas fueron 43° C y -10° C respectivamente. Las precipitaciones medias varían entre 200 y 400 mm/año, sin presentar un ciclo anual definido, siendo comunes las lluvias torrenciales de corta duración (López Alfonsín *et al.*, 2012).

Los vientos (que serán explicados en detalle en el capítulo 7) corresponden al borde meridional entre el régimen eólico patagónico y el pampeano – chaqueño, con dominancia de fuertes vientos (del Río *et al.*, 2004). Poseen medias mayores preferentemente en verano, lo cual favorece la aridez y la evaporación dentro de un ambiente con escasas precipitaciones. Las direcciones dominantes en la época estival son del oeste, sudoeste y noroeste, viéndose reflejado en la ausencia virtual de humedad proveniente del mar. La componente del este puede producir una brisa marina, moderando la temperatura y formando nubes y rocío, característico de los vientos oceánicos, más húmedos y frecuentes en invierno. Además al haber una muy baja humedad relativa y poca turbidez (excepto cuando soplan fuertes vientos), la atmósfera suele ser diáfana, con un porcentaje medio de cielo cubierto del 40% (del Río *et al.*, 2004; López Alfonsín *et al.*, 2012).

### **2.2. Oleaje y deriva litoral asociada**

Estudios realizados en Puerto Quequén, la localidad más cercana a la provincia de Río Negro donde se han hecho mediciones, indican una altura media de ola de 1,33 m y altura máxima de ola de 3,61m, con un período de 8 segundos (Kokot *et al.*, 2004). A su vez, según estudios numéricos realizados por Fucks *et al.* (2011) para la zona de Las Grutas, los valores medios anuales para la altura significativa, el periodo de pico y la dirección de incidencia de las olas, resultaron 0,50 m, 3,3 s y 212°, respectivamente.

Por otro lado la circulación de las masas de agua ingresa por la zona sur de la boca del golfo, provenientes de la Corriente Costera Patagónica, donde se verifica un giro ciclónico de aproximadamente 70 km de diámetro y sale por la zona norte, la cual carece de aportes de agua dulce, excepto el río Negro (López Alfonsín *et al.*, 2012).

Existen evidencias de un desplazamiento del canal principal de desembocadura del río Negro (extremo distal) en sentido contrario a las agujas del reloj y la deriva litoral medida a la altura del balneario El Cóndor fue calculada entre 740.000 y 900.000 m<sup>3</sup>/año (del Río *et al.*, 2004) hacia el E. Sin embargo, en la zona de estudio la deriva es hacia el O – NO, evidenciado por la acción de olas provenientes del este y del sudeste, predominando netamente las segundas y por la espiga desarrollada en Caleta de los Loros.

### **2.3. Marea**

Los valores de marea para el puerto patrón más cercano, San Antonio Este, corresponden a un régimen mareal semidiurno y a un ambiente macromareal, siendo las pleamares máximas registradas de 9,63 m y las mínimas bajamares de 0,16 m, con un nivel medio de 4,45 m (Servicio de hidrografía Naval, 2011), coincidiendo con la amplitud máxima expresada por Fucks *et al.* (2011) de 9,57 m, registrada también en San Antonio Este.

Las corrientes de marea poseen direcciones reversibles provenientes del NE y SO, con velocidades máximas registradas entre 3 y 5 nudos (del Río *et al.*, 2004).

### **2.4. Cambio absoluto del nivel del mar**

Para la costa argentina, se pueden tener en cuenta datos del mareógrafo de Buenos Aires, con valores entre 1905 y 1987, que dan una tendencia al ascenso del nivel del mar de 1,6 mm/año (Kokot *et al.*, 2004). También se han registrado valores similares (1,4 mm/ año) en Mar del Plata entre los años 1954 y 1992 (Lanfredi *et al.*, 1998) y en Puerto Quequén (1,4 mm/ año) entre 1918 y 1981 (Lanfredi *et al.*, 1988). Actualmente, se prevé un ascenso del nivel del mar de 0,09 a 0,88 m para el año 2100 (Kokot *et al.*, 2004). Este ascenso del nivel del mar se produciría, entre otros, por el calentamiento climático por efecto invernadero, con inundaciones, incremento en el

retroceso costero e intrusión salina en los acuíferos costeros y estuarios como impactos potenciales.

En la zona de estudio las inundaciones directas afectarían las zonas bajas, es decir no acantiladas. Dentro de estas zonas, con una vulnerabilidad muy alta, se encuentra Caleta de los Loros, mientras que Bahía Creek, ubicada a continuación pero junto al comienzo de los acantilados, posee alta vulnerabilidad (Kokot *et al.*, 2004).

## **2.5. Suelos**

De acuerdo con el régimen de humedad edáfica de tipo arídico, los suelos de mayor distribución areal en esta unidad corresponden a los Aridisoles, destacando Haplocalcides típicos (suelos de poco desarrollo y texturas gruesas, con carbonato de calcio incrementando en profundidad), Paleargides petrocálcicos (suelos poco profundos, con presencia de un calcrete a continuación de un horizonte argílico poco potente) y Natrargides típicos (suelos poco profundos, salinos y alcalinos). A los Aridisoles le siguen en importancia los Entisoles, donde se destacan los Torripsamentos típicos y Torrifluventes típicos. Los rasgos pedogenéticos principales son el resultado de un ciclo de formación de suelos anterior al actual, con predominio de condiciones climáticas más húmedas que posibilitaron la argiluviación y consecuentemente formación de horizontes argílicos que caracterizan a Paleargides y Natrargides. Mientras que las condiciones climáticas actuales propician el proceso de carbonatación evidenciado por la presencia de Haplocalcides o subgrupos cálcicos y petrocálcicos (Cruzate *et al.*, 2006).

## **2.6. Hidrografía – Hidrogeología**

Los recursos hídricos superficiales únicamente se reflejan en arroyos y cauces aluvionales efímeros presentes solamente en épocas de lluvias torrenciales. Esta escasez de precipitaciones, junto a la gran permeabilidad del sustrato compuesto por dunas, gravas arenosas y unidades arenosas, hace que el acuífero subterráneo sea el único recurso de agua en la zona, abasteciendo limitadamente los requerimientos locales. Como consecuencia, los pocos pobladores costeros y las estancias de la región, se abastecen de aguas de no muy buena calidad proveniente de perforaciones y pozos, su contenido salino es próximo a 1 g/l, justo en el límite de los valores

considerados para el agua potable. Para la ganadería se utiliza agua del nuevo acueducto ganadero que no llega a ser potable (Olivares, 2000).

## 2.7. Flora y fauna

La flora está constituida principalmente por especies adaptadas para sobrevivir a las frecuentes sequías mediante el desarrollo de hojas carnosas o reducidas, talla pequeña, tallos fotosintéticos y acumuladores y raíces muy ramificadas y profundas (Marcos y Mancini, 2012).

Estos últimos autores describen tres comunidades vegetales asociadas a las diferentes unidades geomorfológicas. La comunidad estepa graminosa presenta una buena correspondencia con la unidad laguna efímera. La comunidad estepa arbustiva ha sido asociada tanto a las dunas fijas como al paisaje fluvial, destacando jarilla, chañar y alpataco. Mientras que la comunidad psammófito está presente en dunas móviles, fijas y paisaje fluvial y destacan olivillos (Fig. 2.1 a) y junquillos (Fig. 2.1 b).

En cuanto a la fauna, las aves están muy bien representadas tanto en su diversidad como en su cantidad, incluyendo varios sitios de relevancia para el descanso y alimentación de aves migratorias. También hay mamíferos terrestres y marinos, reptiles y abundantes peces, moluscos, crustáceos y otros invertebrados marinos (López Alfonsín *et al.*, 2012).

Es importante destacar que la presencia del hombre en estas áreas ha modificado el paisaje y las relaciones tróficas. A su vez la desertificación y disminución de la diversidad vegetal es el principal problema ecológico causado por la ganadería, debido al sobrepastoreo. Esto conduce al aumento de la mortalidad del ganado a causa de los depredadores producto del deterioro de sus recursos naturales (del Río *et al.*, 2004; López Alfonsín *et al.*, 2012; Hesp y Walker, 2013).

Además dentro del área de estudio existe el Área Natural y Protegida Caleta de los Loros, creada en el año 1984 por la particular biodiversidad de la zona, que cuenta con muchas especies en peligro de extinción por la destrucción de sus ecosistemas (del Río *et al.*, 2004; Giaccardi y Tagliorette, 2007; López Alfonsín *et al.*, 2012).



Figura 2.1. Vegetación de la zona. a: olivillo. b: junquillo (nótese el nebkha que se forma junto a la vegetación).

### 3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE BAHÍA CREEK Y CALETA DE LOS LOROS

#### 3.1. Marco Geológico

Este sector costero presenta como rasgo característico un cortejo erosivo definido por la presencia de prominentes acantilados con extensas plataformas de erosión. Estos ambientes erosivos sólo aparecen interrumpidos en dos sectores donde se encuentran desarrolladas bocas de mareas en diferentes estadios evolutivos: Caleta de los Loros, activa y Bahía Rosas, fósil (del Rio *et al.*, 2004).

Las unidades geológicas aflorantes y la estratigrafía en la zona norte del Golfo San Matías se puede encontrar en distintos trabajos realizados sobre el área (Gelós *et al.*, 1992; Zavala y Freije, 2005; Reichler, 2010). Una síntesis de estas características regionales se puede observar en las figuras 3.1 (unidades aflorantes) y 3.2 (síntesis estratigráfica). Hay que tener en cuenta que la Formación Gran Bajo del Gualicho es equivalente a la Formación Patagonia. Además el perfil litoestratigráfico particular de Bahía Creek se presentará más adelante, en este mismo capítulo.

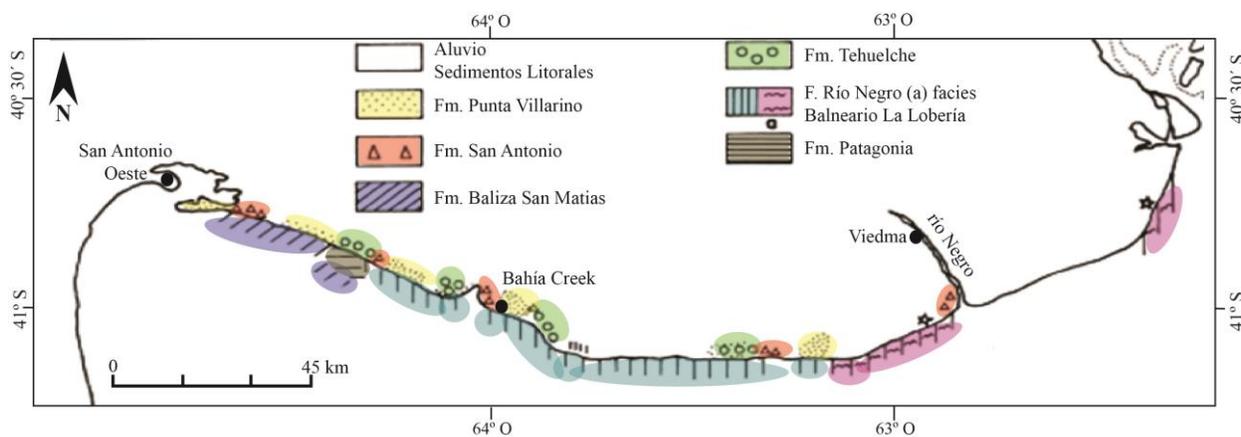


Figura 3.1. Distribución de las unidades estratigráficas aflorantes. Modificado de Gelós *et al.* (1992).

Ma	Edad	Rizzolo (1967)	Lizuain y Sepúlveda (1978)	Lizuain (1983)	Sepúlveda (1983)	Camacho (1987)	En este trabajo
5,3	Plioceno	Fm. Tehuelche	Rodados patagónicos	Fm. Río Negro	Fm. Río Negro	Fm. Río Negro	Fm. Río Negro
		Fm. Río Negro	Fm. Río Negro		Fm. Puerta del Diablo	Fm. Puerta del Diablo	
23,0	Mioceno	Fm. Entre Ríos	Fm. Gran Bajo del Gualicho	Fm. Gran Bajo del Gualicho	Fm. Gran Bajo del Gualicho	Fm. Gran Bajo del Gualicho Sección superior	Fm. Gran Bajo del Gualicho (Miembro Arriola nov.)
33,9	Oligoceno					Fm. Gran Bajo del Gualicho Sección inferior	
55,8	Eoceno	"Estratos con <i>Venericor</i> "					
65,5	Paleoceno	Fm. Roca	Fm. Arroyo Barbudo	Fm. Arroyo Barbudo	Fm. Arroyo Barbudo	Fm. Arroyo Barbudo	Fm. Arroyo Barbudo
	Mástil						

Figura 3.2. Esquema estratigráfico correspondiente a la región del Gran Bajo y Salinas del Gualicho que puede ser adoptado para el área de estudio debido a la presencia de las mismas formaciones. Tomado de Reichler (2010). En Bahía Creek afloran las formaciones Río Negro y Tehuelche (conocida también como “Rodados Patagónicos”).

### 3.1.1 Síntesis de la estratigrafía de la región

#### *Formación Río Negro* (Mioceno – Plioceno, Andreis, 1965)

Esta unidad geológica está expuesta en los acantilados marinos activos de Bahía Creek, siendo la mejor representada en la zona de estudio. Se interrumpe pocos kilómetros hacia el oeste, donde los afloramientos penetran en el continente, en el paleoacantilado. Esta unidad, se compone de areniscas de grano fino a medio, gris azulados a gris pardos, con estratificación laminar entrecruzada y arcilitas limosas finamente estratificadas de colores gris blanquecino, pardo claro y rosado. En los niveles superiores se intercalan lentes cineríticos blanquecinos pulverulentos, delgadas capas de yeso y diferentes estructuras sedimentarias de ordenamiento interno. Estos depósitos se acumularon en un ambiente mayormente continental, dentro del cual se identifica una intercalación de depósitos marinos (Gelós *et al.*, 1992; Zavala y Freije, 2005).

La base de esta unidad no se encuentra expuesta, mientras que el espesor aflorante puede alcanzar los 65 metros. La Formación Río Negro está cubierta mediante una superficie de

erosión por otra unidad geológica más joven, conocida como Formación Tehuelche o de modo informal como “Rodados Patagónicos” (Zavala y Freije, 2005).

Esta unidad posee un buzamiento aparente hacia el E y se acuña hacia el O, ya que se observa un adelgazamiento de la facies en esa dirección (Gelós *et al.*, 1992).

Zavala y Freije (2005) han identificado tres miembros dentro de esta unidad:

El miembro inferior es expuesto en la base del acantilado entre Playa Bonita y Bahía Rosas. Su base solo aflora en unos sectores entre Caleta de los Loros y Barranca Final, de forma paraconcordante sobre la Formación Patagonia (Gelós *et al.*, 1992), también llamada Formación Gran Bajo del Gualicho, y está compuesto principalmente por sedimentitas eólicas depositadas en un ambiente correspondiente a un desierto arenoso, e intercalaciones correspondientes a depósitos de interduna seca y húmeda (Zavala y Freije, 2005).

El miembro medio (Mioceno tardío) tiene un contacto erosivo sobre el inferior, es expuesto en el acantilado desde La Lobería hasta Bahía Rosas y se corresponde con la Facies Balneario La Lobería. Está compuesto por areniscas finas bioturbadas con abundantes restos de conchillas marinas y pelitas depositadas en un ambiente marino somero, afectado por oleaje y parcialmente confinado (Zavala *et al.*, 2000; Zavala y Freije, 2005).

El miembro superior (Plioceno temprano) posee un contacto neto con el miembro medio y vuelve a estar compuesto por areniscas eólicas depositadas en un desierto eólico con intercalaciones lacustres correspondientes a ambientes de interduna. Hacia el tope de este miembro se intercalen tobas y paleosuelos (Alberdi *et al.*, 1997; Zavala y Freije, 2005).

#### *Formación Tehuelche* (Pleistoceno, Sepúlveda, 1983)

Son gravas arenosas total o parcialmente cementadas por carbonatos de calcio. Afloran en las porciones cuspidales en diversos sectores de los acantilados entre Barranca Final (30 km al O de Caleta de los Loros aprox.) y Bahía Rosas, con potencias cercanas a los 2 m. Estos depósitos corresponderían a la antigua planicie fluvial del río Negro (Gelós *et al.*, 1992; del Río *et al.*, 2004).

#### *Formación Baliza San Matías* (Pleistoceno, Angulo *et al.*, 1978)

Está conformada por coquinas y gravas cementadas en una matriz arenosa. Se encuentra en contacto discordante con la Formación Río Negro, aparecería en delgados bancos en la

plataforma de abrasión. Se extienden hacia el O de Barranca Final hasta la altura de Baliza San Matías (Gelós *et al.*, 1992; del Río *et al.*, 2004), por lo tanto su presencia es muy poco relevante en la zona de estudio.

#### *Formación San Antonio* (Holoceno, Angulo *et al.*, 1978)

Esta formación está integrada por gravas arenosas y arenas con valvas de moluscos que frecuentemente se encuentran en bancos. El contacto basal con la Formación Río Negro es de discordancia erosiva. Sobre ella se apoyan sedimentos eólicos, fluviales y marinos actuales (del Río *et al.*, 2004).

La Formación San Antonio aparece en los ambientes intermareales de Caleta de los Loros (Gelós *et al.*, 1992; del Río *et al.*, 2007). Los niveles más modernos están formados por sedimentos finos limo – arcillosos de color castaño grisáceo, que constituyen los denominados cangrejales. En la Caleta de los Loros estos depósitos forman una llanura limo – arenosa intermareal, donde se pueden identificar canales de marea más arenosos (López Alfonsín *et al.*, 2012).

#### *Formación Punta Villarino* (Actual, Angulo *et al.*, 1978)

Esta formación integra los depósitos eólicos que suprayacen a las anteriores. Son arenas muy finas a medias bien seleccionadas (del Río *et al.*, 2004).

Se trata de acumulaciones medanosas activas e inactivas y depósitos mantiformes como los campos de médanos y mantos de arena que se han reconocido en los sectores de Caleta de los Loros y Bahía Creek (Gelos *et al.*, 1992).

#### *Sedimentos litorales* (Actual)

Se trata de arenas y gravas con bioclastos de moluscos marinos depositados en las playas actuales que cubren la costa desde la zona supramareal a la inframareal (Gelos *et al.*, 1992; del Río *et al.*, 2004).

En un estudio realizado a lo largo de la costa de Río Negro, entre la desembocadura del río homónimo y Punta Villarino (San Antonio Este), Gelós *et al.* (1990), establecieron dos fuentes de aporte para los sedimentos de playa, la Formación Río Negro para la fracción psamítica y las formaciones Baliza San Matías y Tehuelche para la fracción psefítica. A su vez destacan dos

sitios con características texturales distintas, Caleta de los Loros y Bahía Rosas. El primero de ellos, dentro del área de estudio, está definido por sedimentos pelíticos en los sectores distales, mientras que Bahía Rosas presenta gravas y rodados de buena selección.

Estos materiales que conforman las arenas de playa tienen derivación volcanoclástica dominante, sus edades están comprendidas entre el Eoceno y Pleistoceno y provienen casi en su totalidad del área de la Cordillera Norpatagónica, favorecidos por una pendiente hídrica atlántica desde el Paleógeno (Gelós *et al.*, 1990). A esto debe agregarse que hubo un aporte psamítico durante la transgresión holocénica vinculado a los ríos Negro y Colorado y ha sido redistribuido en la plataforma gracias a la acción de corrientes marinas (Gelós *et al.*, 1988).

#### *Aluvio (Actual)*

Corresponden a depósitos de drenaje de cañadones y torrenteras (Gelós *et al.*, 1992).

### **3.1.2 Historia geológica (Mioceno tardío – Holoceno)**

Los niveles más antiguos reconocidos corresponden al Mioceno tardío, alrededor de 13 millones de años de antigüedad. En ese momento, la zona era una llanura algo ondulada, con grandes campos de dunas eólicas, separadas por extensas áreas llanas. Este paisaje se encontraba alejado del mar.

11 millones de años atrás se produjeron cambios drásticos en las características de la zona, debido al avance de una antigua lengua de mar desde el Atlántico que la cubrió progresivamente de este a oeste.

Dicha lengua marina se retiró de forma relativamente rápida hace unos 9 millones de años, producto de un descenso en el nivel del mar, provocando un rápido avance de las playas.

Esta última modificación ambiental fue seguida por un ambiente continental similar al descrito inicialmente, etapa en la cual la Patagonia era una llanura bastante alejada del mar, pudiéndose encontrar a más de 100 km hacia el este.

Estas condiciones perduraron hasta hace unos 2 millones de años (Plioceno tardío) cuando se interrumpe gradualmente la sedimentación en esta zona y se desarrolla una estepa con una superficie relativamente estabilizada por largo tiempo. Esta superficie estabilizada perduró hasta un nuevo avance del nivel del mar registrado hace unos 125.000 años, momento en el que se labró una costa acantilada similar a la que observamos actualmente. Sin embargo, como el nivel

del mar llegó a ser más alto que el actual, los acantilados se extendieron mucho más tierra adentro que los actuales. Estos acantilados fósiles permiten explicar las “bahías” sin acantilados que se encuentran en la costa (como Bahía Rosas y Bahía Creek).

Luego, durante el Pleistoceno tardío, este mar se retiró hacia el este unos 300 kilómetros, dejando a los acantilados “colgados”, seguidos por una extensa llanura desarrollada hacia el mar con depósitos eólicos.

Los últimos sucesos ocurren en los últimos 18.000 años (Pleistoceno tardío – Holoceno), registrados en un ascenso del nivel del mar de más de 120 metros hasta alcanzar el nivel actual. Este suceso está relacionado al derretimiento de grandes extensiones de hielos continentales relacionados al fin de la última glaciación (Zavala y Freije, 2005).

### **3.2. Geología del área de estudio**

#### *Estratigrafía*

En la bajada construida sobre el acantilado en la localidad de Bahía Creek, ubicada precisamente entre los puntos 41° 05' 02.7" S, 63° 56' 03.0" O y 41° 05' 00.4" S, 63° 55' 59.3" O, se realizó el perfil litológico de dicho acantilado (Fig. 3.3) para caracterizarlo localmente y, de esta forma, poder compararlo con el marco geológico regional. El espesor de los estratos fue medido con cinta métrica. Para la mejor identificación del material depositado se utilizó lupa de mano y escala granulométrica y algunos puntos de interés fueron documentados en fotografías. Una vez levantados los datos se procedió a la confección del perfil en el gabinete mediante *Adobe Illustrator*.

El perfil realizado está compuesto desde la base por una secuencia alternante de areniscas y pelitas que alcanza los 18,5 m, con bancos con espesores de entre 1 y 6 m para las areniscas y alrededor de 0,5 m para las pelitas.

Dentro de las psamitas, pudo observarse mayor cantidad de granulometría media y subordinadamente fina, muy fina y gruesa, en general con poca compactación. En la base, predominan los colores gris, gris azulado y gris verdoso. En uno de estos niveles, ubicado a 1 metro de la base, está presente un pequeño banco de tobas. El resto de la columna posee predominio de colores castaño claro u ocre y algunos niveles superiores desarrollan una mayor compactación al encontrarse junto con yeso (Fig. 3.4, a), pudiéndose hallar concreciones de este

mismo mineral. Las estructuras presentes en estos bancos de areniscas, preferentemente tabulares y en menor medida lenticular y cuneiforme, son laminación paralela, estratificación entrecruzada tangencial, entrecruzada en artesa y tabular planar (Fig. 3.4, b).

Los bancos de pelitas con los que alternan, presentan con mayor compactación; hacia la base poseen grietas de desecación (Fig. 3.4, c), y en lo que sigue de la columna predomina la laminación paralela. Estas intercalaciones son generalmente pardas y compactas.

Esta secuencia correspondería a niveles de dunas e interdunas, tanto secas como húmedas, descritas por Zavala y Freije (2005), interpretándose como el miembro superior de la Formación Río Negro.

En discordancia erosiva sobre la Formación Río Negro se apoyan conglomerados matriz y clasto sostén (Fig. 3.4, d). Los clastos de estos conglomerados se componen de fragmentos de rocas ígneas y rocas metamórficas y presentan tamaños de 5 mm a 130 mm. Sus clastos son subredondeados. La matriz se compone de pelitas pardas y rosadas. Por sus características texturales, estas rocas podrían representar depósitos generados por flujos de densidad concentrados. A su vez, por sus características generales, estos depósitos corresponden a la Formación Tehuelche o “Rodados Patagónicos”.

Finalmente, sobre este nivel se encuentran depósitos de arenas actuales pertenecientes a la Formación Punta Villarino.

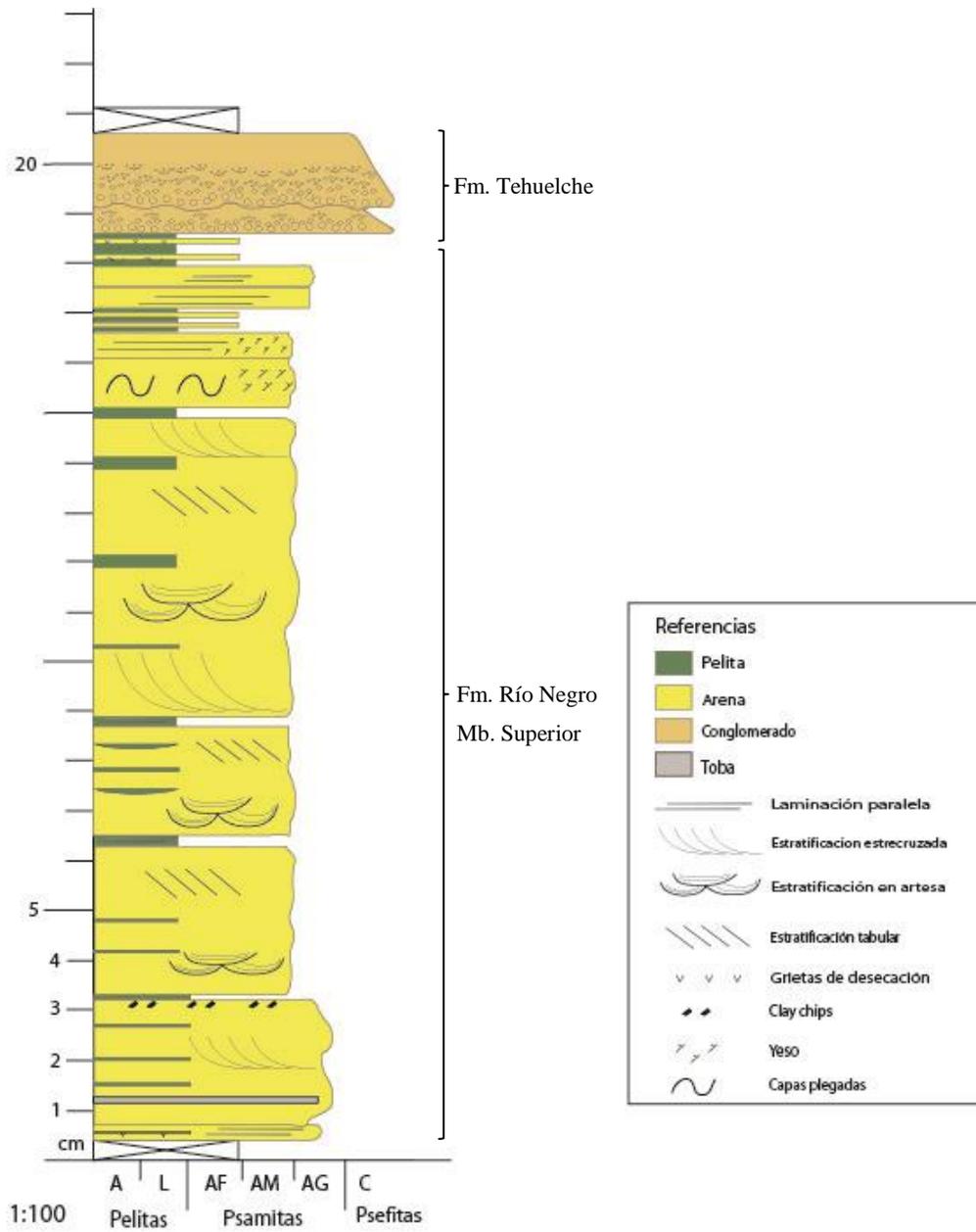


Figura 3.3. Perfil estratigráfico realizado en la bajada a la playa de Bahía Creek.

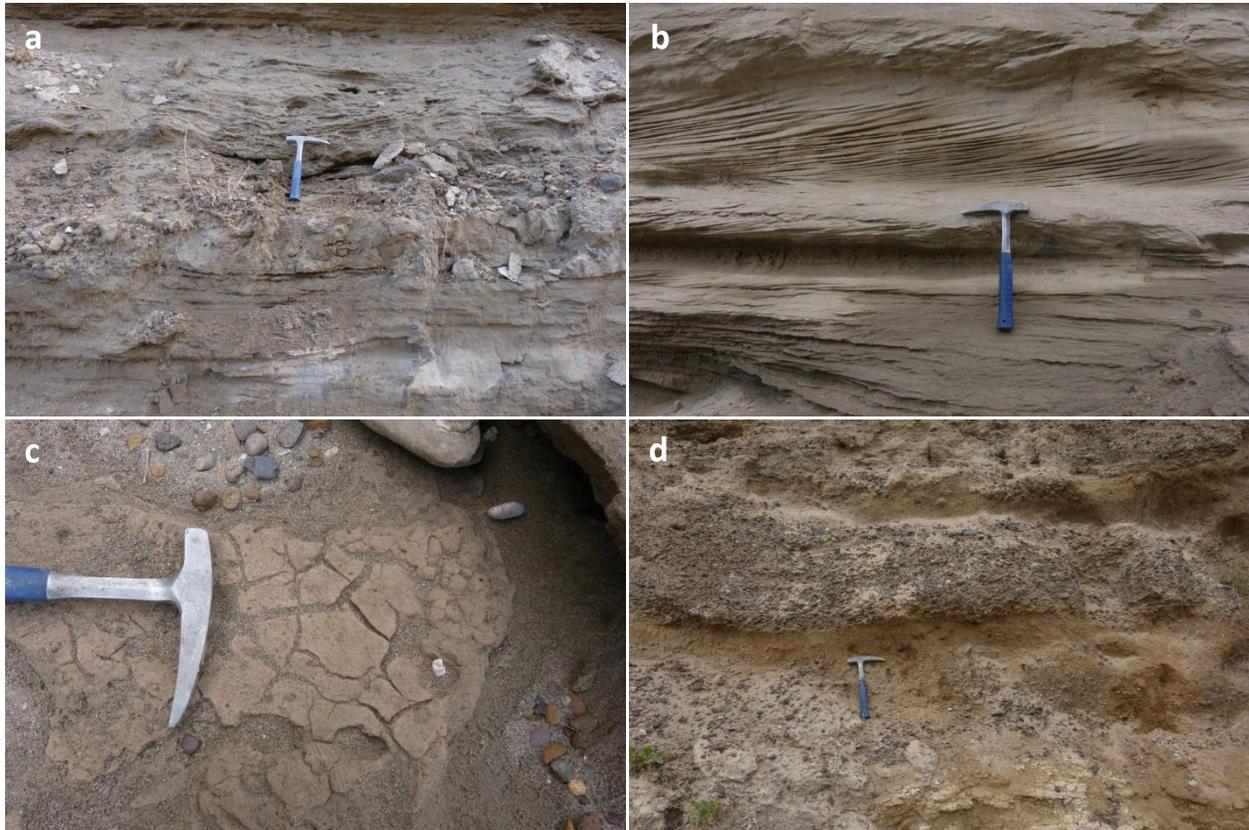


Figura 3.4. Imágenes del perfil levantado. En a se puede observar niveles con yeso, en b estratificación entrecruzada tangencial, en c grietas de desecación y en d los conglomerados al tope del perfil.

### 3.3. Análisis estructural del acantilado en la zona de estudio

Las estructuras fueron medidas en el campo mediante brújula tipo *Brunton*, el rumbo en Az y a partir de este la inclinación. En el gabinete se realizó su estudio y los gráficos fueron confeccionados mediante *FaultKin* y *Adobe Illustrator*.

En la bajada a la playa de Bahía Creek fue medida una serie de fracturas y fallas vinculadas a la retracción del acantilado. Estas estructuras, observadas durante las labores de campo tienen un rumbo promedio NNO – SSE, con valores que oscilan entre  $165^\circ$  y  $192^\circ$ , mientras que en cercanías a dicha bajada los valores fueron muy similares, entre  $170^\circ$  y  $190^\circ$ , con un promedio de rumbo N – S. Estas estructuras en la bajada presentan inclinaciones en su mayoría al O, mayores a  $62^\circ$ , mientras que en sus cercanías inclinan tanto al O como al E con ángulos mayores a  $66^\circ$  (Fig. 3.5). También dentro de la bajada, algunas de las estructuras se pudieron identificar como fallas normales (Fig. 3.6), las cuales presentan rechazos de 20 cm individualmente, alcanzando 1

metro en su conjunto. Una de las fallas observadas corresponde a la superficie de cizalla o superficie de deslizamiento de un movimiento rotacional y se ubica quince metros aproximadamente detrás del borde del acantilado. Teniendo en cuenta que los planos de debilidad, ruptura o fractura serían los planos de las fallas y que a su vez el desplazamiento se produce a través de estos, se pueden identificar aproximadamente los esfuerzos principales locales (Fig. 3.6).

Asimismo se observaron diaclasas a lo largo de todo el acantilado, habiendo sectores con mayor predominio que otros, similares a las descritas por del Rio *et al.* (2004) en la zona, con al menos dos juegos verticales. Uno de ellos posee una dirección general casi perpendicular al acantilado y otro es paralelo al mismo, es decir, NE – SO y NO – SE respectivamente. Estas estructuras se forman debido a que la presión de confinamiento del macizo rocoso sufre una relajación en dirección de la cara libre del acantilado, expresada mediante esas diaclasas. Con el tiempo se amplían debido a una combinación de factores como caída de material detrítico en la grieta, humectación y desecación, excavación producida en el pie de los acantilados por la acción del oleaje, etcétera (del Rio *et al.*, 2004; López Alfonsín *et al.*, 2012). A lo largo del acantilado se puede ver cómo estas diaclasas generan planos de ruptura, convirtiéndose en lugares donde puede haber caída de bloques, generalmente de manera muy rápida y en consecuencia muy peligrosa, teniendo en cuenta que dichas estructuras están orientadas a la playa.

En general si bien con la información obtenida no se puede determinar exactamente el plano de deslizamiento y el desplazamiento, se cuenta con una aproximación más que válida, sabiendo que se pueden producir procesos de remoción en masa aprovechando planos de ruptura. Aunque el retroceso promedio calculado por del Rio *et al.* (2007) fue de 0,2 m/año, hay que tener en cuenta que pueden producirse eventos de magnitud considerable, como lo evidencian García y Casadío (2012) en Punta Bermeja (La Lobería), a 70 km de la zona de estudio, donde el máximo de acantilado derrumbado en un evento alcanzó los 7 metros, siendo el retroceso promedio del lugar calculado por del Rio *et al.* (2007) de 0,54 – 0,66 m/año.

En consecuencia, estas estructuras, sumado a la poca consolidación de los materiales presentes en el acantilado, pueden llevar a un mayor riesgo de procesos de remoción en masa, más teniendo en cuenta que el sector estudiado se encuentra cercano a la población, la cual puede favorecer estos fenómenos mediante el tránsito (vehicular fundamentalmente) y al arrojar líquidos cloacales desde el tope del acantilado por ejemplo.

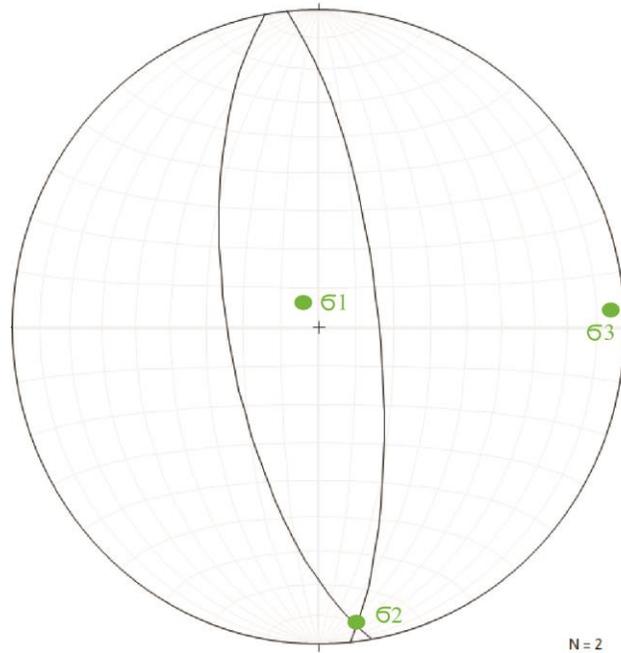


Figura 3.5. Planos de fracturas conjugadas medidas en cercanías a la bajada del acantilado. Los puntos verdes representan las direcciones de los esfuerzos principales locales.

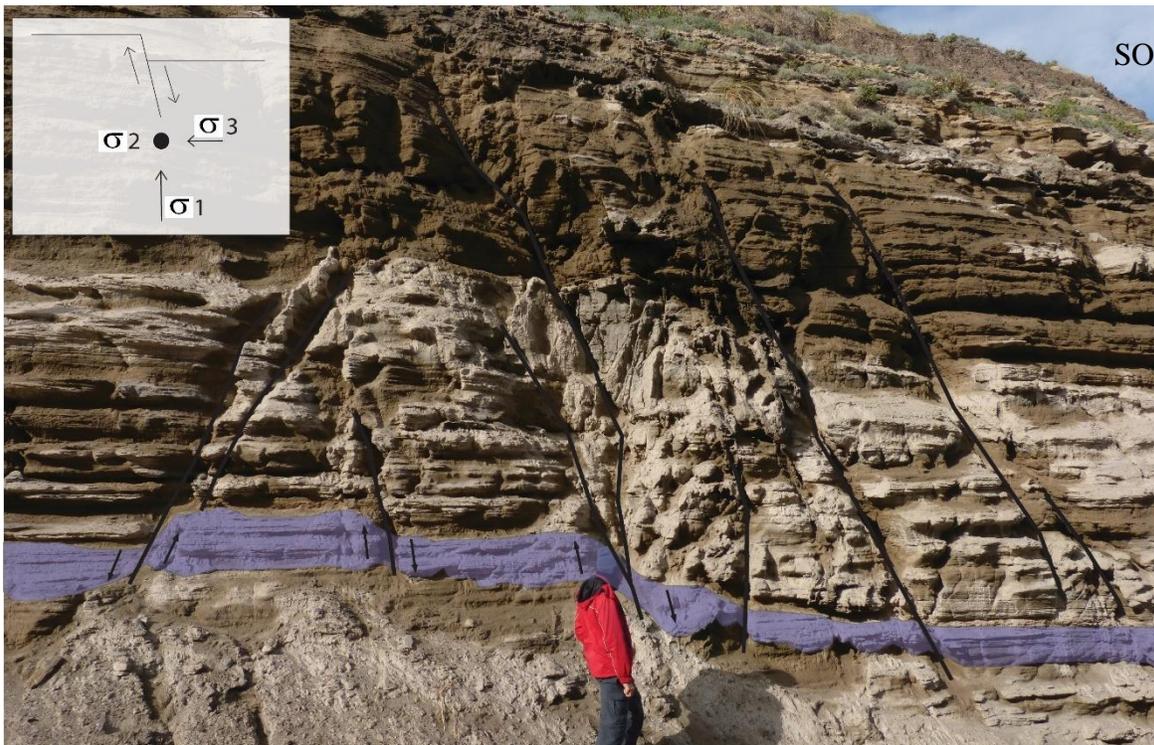


Figura 3.6. Fallas normales en la bajada a la playa con la interpretación de los ejes de esfuerzo principal local.

## **4. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE BAHÍA CREEK Y CALETA DE LOS LOROS**

### **4.1. Antecedentes Geomorfológicos**

A escala regional el rasgo geomorfológico más importante en este sector costero es el Golfo de San Matías. El mismo es una cuenca de una profundidad máxima aproximada de 200 metros. Se encuentra separado de la Plataforma Continental por un umbral de 50 metros de profundidad media. Sus aguas provienen de la plataforma por una escotadura del umbral ubicada al sureste. En el mismo se verifica un patrón de circulación que define un frente de marea longitudinal (del Río *et al.*, 2004, 2007).

La zona de estudio propiamente dicha, dentro de las entidades mayores para la provincia de Río Negro propuestas por González Díaz y Malagnino (1984), se encuentra representada por la región septentrional del ambiente de mesetas y planicies y por el ambiente litoral.

La primera de estas entidades está representada casi en su totalidad por la Antigua Planicie Aluvial disectada, la cual presenta una suave pendiente de entre 10° y 15° al este. Su origen ha sido vinculado a depósitos glacifluviales, fluviales y actualmente si bien su génesis aluvial es sustentada, se relacionan sus rasgos generales con superficies de erosión tales como terrazas fluviales y en algunos casos también con pedimentos. La superficie está cubierta por arenas y clastos psefíticos de la Formación Tehuelche o con una cubierta arcillo limosa y/o arenosa que los enmascara (González Díaz y Malagnino, 1984).

Por otro lado, el ambiente litoral, destaca principalmente la presencia de una costa de acantilados marinos, de tipo plataforma rocosa inclinada, que en Bahía Creek alcanzan 25 – 30 metros de altura y en escasas ocasiones pueden superar los 100 m de altura, mientras que el resto está compuesto por playas de marea. La alternancia de sectores con costas abruptas o acantilados y costas bajas resulta del retroceso de la línea de costa que afecta al ambiente de mesetas y planicies (González Díaz y Malagnino, 1984). Los acantilados descienden de forma gradual hacia las costas bajas, esto es producto de una forma relíctica o heredada del antiguo paisaje de mesetas y planicies de estos bajos (del Río *et al.*, 2004). El proceso de retroceso de los acantilados es tan activo (mucho mayor que el encajamiento de los valles) que provoca el

truncamiento de la red de drenaje, conformando valles colgantes, situación que se encuentra interrumpida en Caleta de los Loros (González Díaz y Malagnino, 1984; Gutiérrez Elorza, 2008; López Alfonsín *et al.*, 2012).

El fenómeno de retroceso de la línea de costa está sin duda vinculado a la acción marina, por la confluencia de una significativa amplitud de mareas y el oleaje desde los sectores sur y sureste que golpean la base de los acantilados. Cuando las olas golpean la costa, ante la falta relativa de sedimentos, la erosión de la misma va asociada a un conjunto de rasgos como las extensas plataformas de erosión de olas y acantilados como los que exhibe la costa rionegrina. La costa resultante es de tipo retrogradante, ya que su posición migra hacia el continente en un lapso determinado por el ataque de las olas. Estos procesos están más relacionados a cambios paulatinos durante los últimos 19000 años que a eventos catastróficos (Codignotto, 1997).

Además, dentro de la zona de estudio, hay playas progradantes, espigas, barras, costas de acumulación eólica y cordones litorales (González Díaz y Malagnino, 1984; del Rio *et al.*, 2007).

## **4.2. Estudio geomorfológico**

Para este capítulo se confeccionó un mapa geomorfológico a escala de mapeo 1:10.000 sobre la imagen satelital del año 2011 (Fig. 4.1) por ser representativa de las geoformas actuales y por su definición para realizar el mapeo. Las características más relevantes de las morfologías mapeadas se exponen en este apartado.

Las demás ilustraciones de este capítulo corresponden a imágenes satelitales obtenidas a través de *Google Earth* y *Bing Maps* y a fotografías tomadas en los viajes de campo, las cuales fueron procesadas con *Global Mapper*, *Adobe Illustrator* y *ArcGis*. Para realizar la combinación de bandas de una figura en particular fue utilizado el software *ENVI*.

### **4.2.1. Geoformas costeras**

*Acantilado activo*: se encuentra principalmente al este de Bahía Creek (Fig. 4.2), donde desarrolla una altura de 20 – 25 m, y hacia el oeste de dicha localidad va perdiendo altura hasta que desaparece a poco menos de dos mil metros de distancia, dando lugar a una playa más extensa con desarrollo de dunas embrionarias y delanteras.

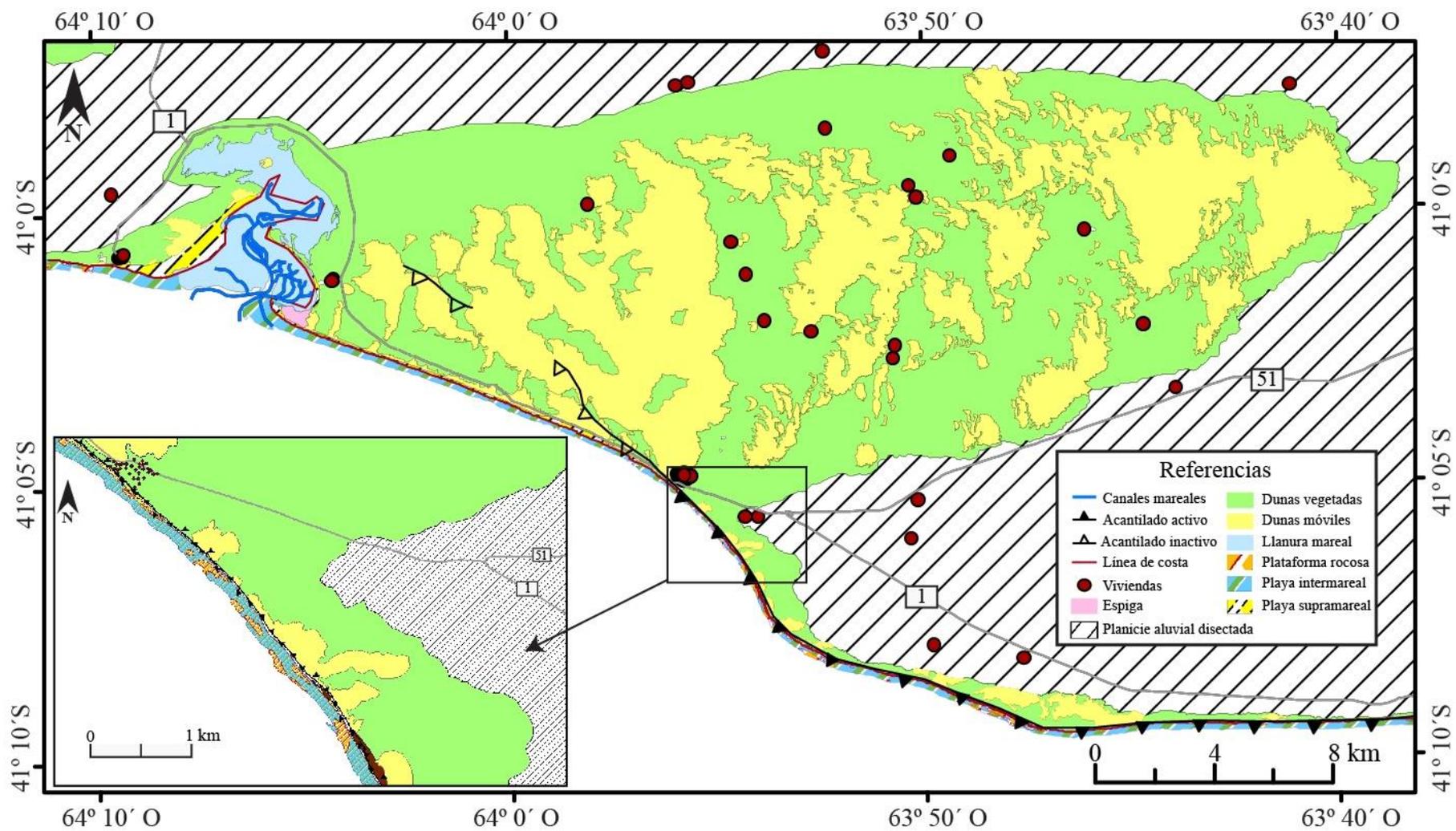


Figura 4.1. Mapa geomorfológico del área de estudio con un zoom que permite apreciar mejor las Geoformas costeras y en particular aquellas cercanas a la localidad de Bahía Creek.



Figura 4.2. Se aprecia el acantilado al E de Bahía Creek junto con material caído en remociones en masa al pie, la playa supramareal e intermareal y la plataforma rocosa. La fotografía está tomada apuntando hacia el SE, con Bahía Creek a las espaldas.

*Paleoacantilado*: se trata de un acantilado que en la actualidad no se ve influenciado por las dinámicas marinas. En el mapa realizado (Fig. 4.1) se puede ver como continúa hacia el continente el trazado que el acantilado activo tiene en la costa; esto se desarrolla desde cientos de metros al oeste de Bahía Creek hasta aproximadamente Caleta de los Loros. Como características más distintivas se puede señalar que la unidad geológica que los representa es la Formación Río Negro y que posee granulometría más fina que el acantilado activo (Fig. 4.3), es decir, arena fina en lugar de arena media. Su origen se produce bajo un nivel del mar constante o descendente en el tiempo, cuando el acantilado retrocede por erosión hasta una posición donde el oleaje deja de afectarlo (Gonzalez Diaz y Malagnino, 1984).

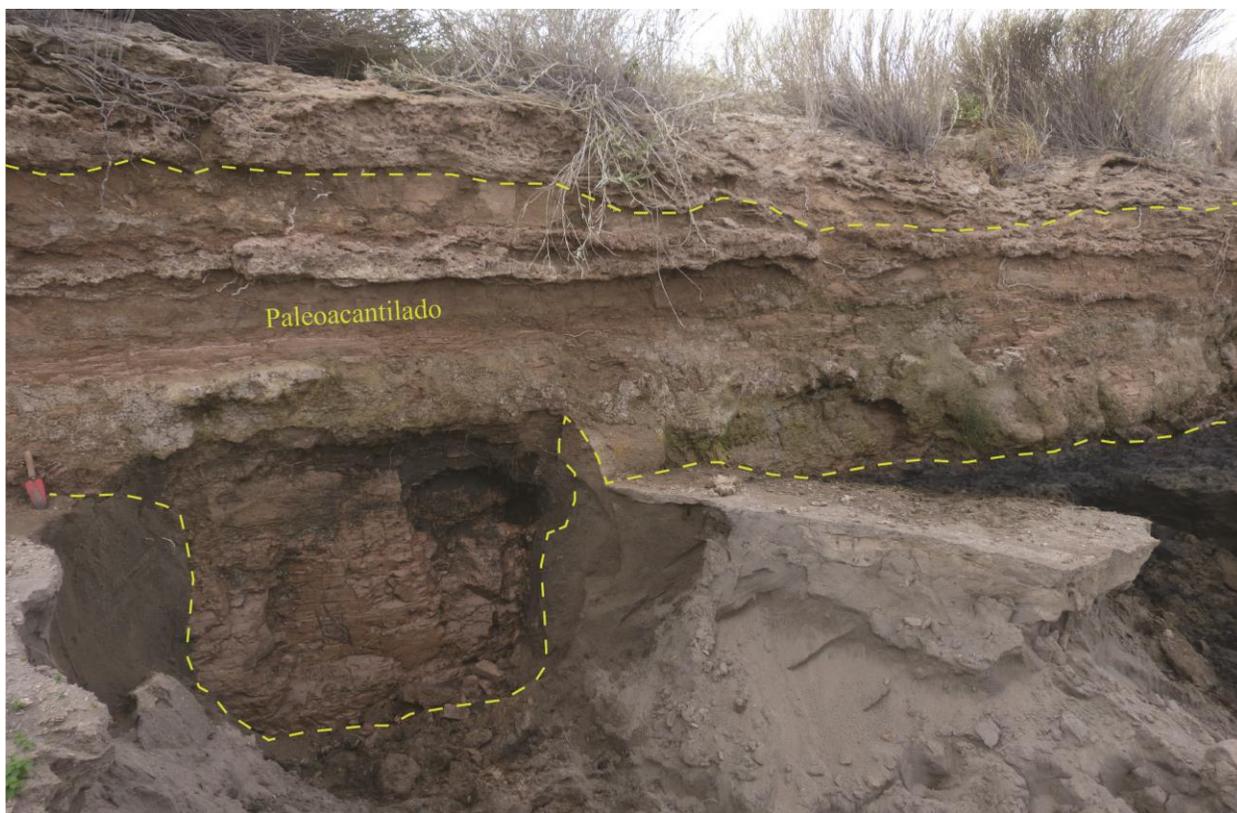


Figura 4.3. Afloramiento del paleoacantilado, donde destacan sedimentos de la Formación Río Negro, más finos que los del acantilado.

*Plataforma rocosa:* se reconoce de forma intermitente bajo los acantilados en el sector de la costa acantilada (Fig. 4.4). Las rocas que la componen pertenecen mayormente a la Formación Río Negro (Gelós *et al.*, 1990), y al ir acumulando más material, producto de procesos de remoción en masa desde el acantilado, contribuye a la pérdida progresiva de la energía con la cual las olas que se acercan a la costa golpean el acantilado.



Figura 4.4. Plataforma rocosa dentro de la playa intermareal. Fotografía tomado mirando hacia el SE.

*Playa*: es la zona costera situada en el límite del mar y el continente, cubierta de material suelto que actúa como amortiguador absorbiendo, reflejando y disipando la energía liberada por las olas y el viento en la franja litoral (Gutiérrez Elorza, 2008). Cuando una playa compuesta de arena queda temporalmente fuera del alcance de las mareas, se seca por la acción del sol, y la arena se puede mover hacia el continente por acción del viento formando dunas (Hattersley y Foster, 1968).

En las playas se diferencian varias zonas, las cuales se muestran en la Figura 4.5.

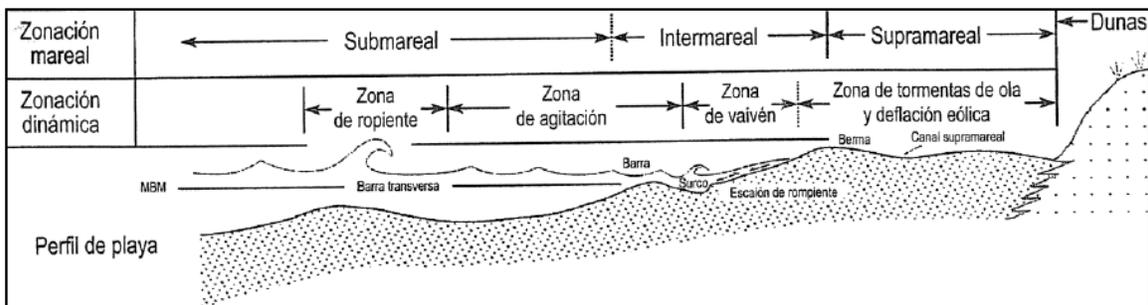


Figura 4.5. Zonificación del ambiente de playa. Tomado de Gutiérrez Elorza (2008).

La superficie de playa desde Caleta de los Loros hasta Bahía Creek es de aproximadamente 5km<sup>2</sup> y está compuesta por arenas finas y gravas (se presenta una clasificación más precisa en el capítulo 5 en base al análisis textural de los sedimentos). A su vez, dentro de las distintas zonas en cuanto a la marea, se distingue la intermareal y la supramareal en el sector sin acantilados, mientras que donde estos están presentes, prácticamente no hay desarrollo de playa supramareal (Fig. 4.2). A su vez, por poseer una amplia zona de rompiente con bajo gradiente en donde las olas rompen y disipan su energía es clasificada como playa disipativa. Estas playas también se caracterizan por favorecer la generación de dunas (Benavente Pizarro, 2015).

*Llanura de marea:* dentro del sector de costa baja se incluye al accidente más destacable de la zona de estudio, la extensa llanura de marea denominada Caleta de los Loros (Fig. 4.6). Para Kostadinoff (1992) se habría originado a partir de un basamento definido por la presencia de un paleovalle generado por una fractura, sobre lo que luego actuaron movimientos isostáticos y eustáticos. Contrariamente, para González Díaz y Malagnino, (1984), se habría originado en un principio por agentes no marinos, tratándose de bajos inicialmente generados en el ambiente continental que posteriormente fueron invadidos por el mar, cuando el acantilado activo retrocedió hasta eliminar la divisoria que los separaba del ambiente marino.



Figura 4.6. Imagen del margen oriental de Caleta de los Loros, donde se puede apreciar vegetación halófila.

*Canales mareales*: se encuentran presentes en Caleta de los Loros (fig. 4.7), ya que frecuentemente se desarrollan fuertes corrientes de marea en las entradas de las bahías y los estrechos. Una importante acción erosiva es ejercida por los canales de marea, por sus flujos y reflujos (Gutiérrez Elorza, 2008).



Figura 4.7. Caleta de los Loros. En la parte inferior derecha puede verse la espiga mencionada en el texto, en la parte superior izquierda hay unas pequeñas islas barrera, en el centro hay diversos canales mareales y en la entrada a la llanura mareal se ubica un banco de reflujo. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

*Línea de costa*: es el límite entre la costa y la playa. Frecuentemente está representada por el pie de un acantilado o de la duna costera. En el presente trabajo se marcó la línea de costa siguiendo el nivel de pleamar (Fig. 4.1).

*Espiga*: la de mayor tamaño y más fácilmente reconocible se ubica al este de la caleta de los Loros (Fig. 4.7). Es generada por la deriva litoral proveniente del SE – E y se ubica a continuación de una playa permanente a la cual se integra lateralmente y se compone de tres fajas de cordones litorales de distintos rumbos, siendo la más externa funcional en la actualidad (González Díaz y Malagnino, 1984).

#### 4.2.2. Geformas eólicas

En el área de estudio hay dos grupos principales de dunas: activas y estabilizadas. Las dunas activas parten desde la caleta y la playa sin acantilado activo, aprovechando el material allí disponible y cubren parcialmente las dunas estabilizadas, con una extensión de 165 km<sup>2</sup> y dirección general de migración predominante hacia el E y NE. Las dunas vegetadas (Fig. 4.8) presentan una notable constancia en el rumbo de sus ejes mayores, formadas por vientos provenientes del O y SO. Ocupan un área más extensa que las formas móviles, extendiéndose hasta 30 km dentro del continente. La vegetación también fue estudiada mediante combinación de bandas de imágenes *Landsat 8* (Fig 4.9).

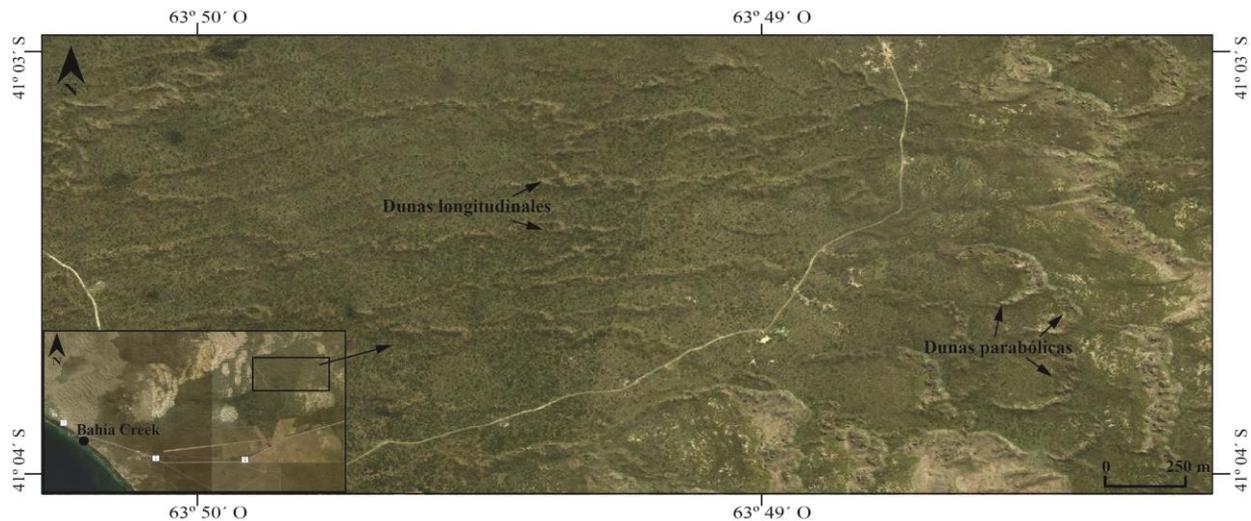


Figura 4.8. Dunas vegetadas lineales y parabólicas hacia el centro y la izquierda y derecha de la imagen respectivamente. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

Posteriormente, mediante la observación de imágenes satelitales de los años 2004 y 2011, fotografías tomadas en el campo y el análisis de los datos de viento disponibles para el trabajo, se realizó una clasificación por zonas para las dunas del campo de dunas de Bahía Creek (Fig. 4.10), tomando como base las clasificaciones presentadas en McKee *et al.* (1979) y Sanjaume y Gracia (2011). Para realizar esta clasificación se tuvo en cuenta que las caras de deslizamiento individuales de las dunas barjanoides dentro del campo de dunas pueden estar orientadas en varias direcciones durante el año en respuesta a los vientos efectivos de varias direcciones y que las dunas lineales en general se alinean paralelamente a la dirección de deriva resultante de

vientos efectivos en el ambiente circundante (McKee *et al.*, 1979). También hay que tener en cuenta que si el suministro de arena es muy grande, o si la vegetación tiene una retención tenue, se pueden comenzar a formar dunas muy similares a las dunas del desierto (Sanjaume y Gracia, 2011).

Además, de cada zona, se realizó su descripción y se agregaron imágenes en detalle. Hay que tener en cuenta que dentro de cada unidad puede aparecer alguna forma o característica no expresada en la descripción, producto del nivel de detalle con el que se realizó el mapeo.

Por otro lado, el mero uso de imágenes satelitales, más allá de contar con una secuencia desde 1984 y datos de viento desde 1967 (el cual es complejo, proviene de distintas direcciones, sin tener una dirección dominante), dificulta en algunas ocasiones establecer de manera apropiada los distintos tipos de dunas debido a la complejidad del sistema ya que puede haber geoformas más antiguas o formadas en un momento particular no reflejado en dicha información, y aunque se cuenta con algunas fotografías tomadas en el campo, solo permiten definir características para ese lugar y no resultaría lo más apropiado extrapolarlas al resto del área.

El área con dunas vegetadas o estabilizadas presenta en su mayoría, dunas lineales y parabólicas pero no fue clasificada con mayor detalle (Fig. 4.8).

Con respecto a este último sector mencionado, se realizaron distintas combinaciones de bandas sobre imágenes *Landsat* 8 para estudiar la vegetación en el área. Con la composición RGB 562 (vegetación sana, Fig. 4.9) se observa que toda el área, salvo las dunas y los cuerpos de agua, cuentan con vegetación. Esta es más vigorosa en las áreas vegetadas del campo de dunas, probablemente porque son plantas jóvenes que están colonizando un ambiente. Por su parte, las especies ubicadas en zonas destinadas a la agricultura, al no contar con un desarrollo tan importante, se observan amarillas. A su vez esta zona adquiere tonos verdes en la combinación RGB 652 (agricultura, Fig. 4.9), correspondiente a zonas cultivadas. Este último análisis de vegetación también muestra colores rojos en las dunas vegetadas, lo cual probablemente se deba a que la vegetación es más dispersa.

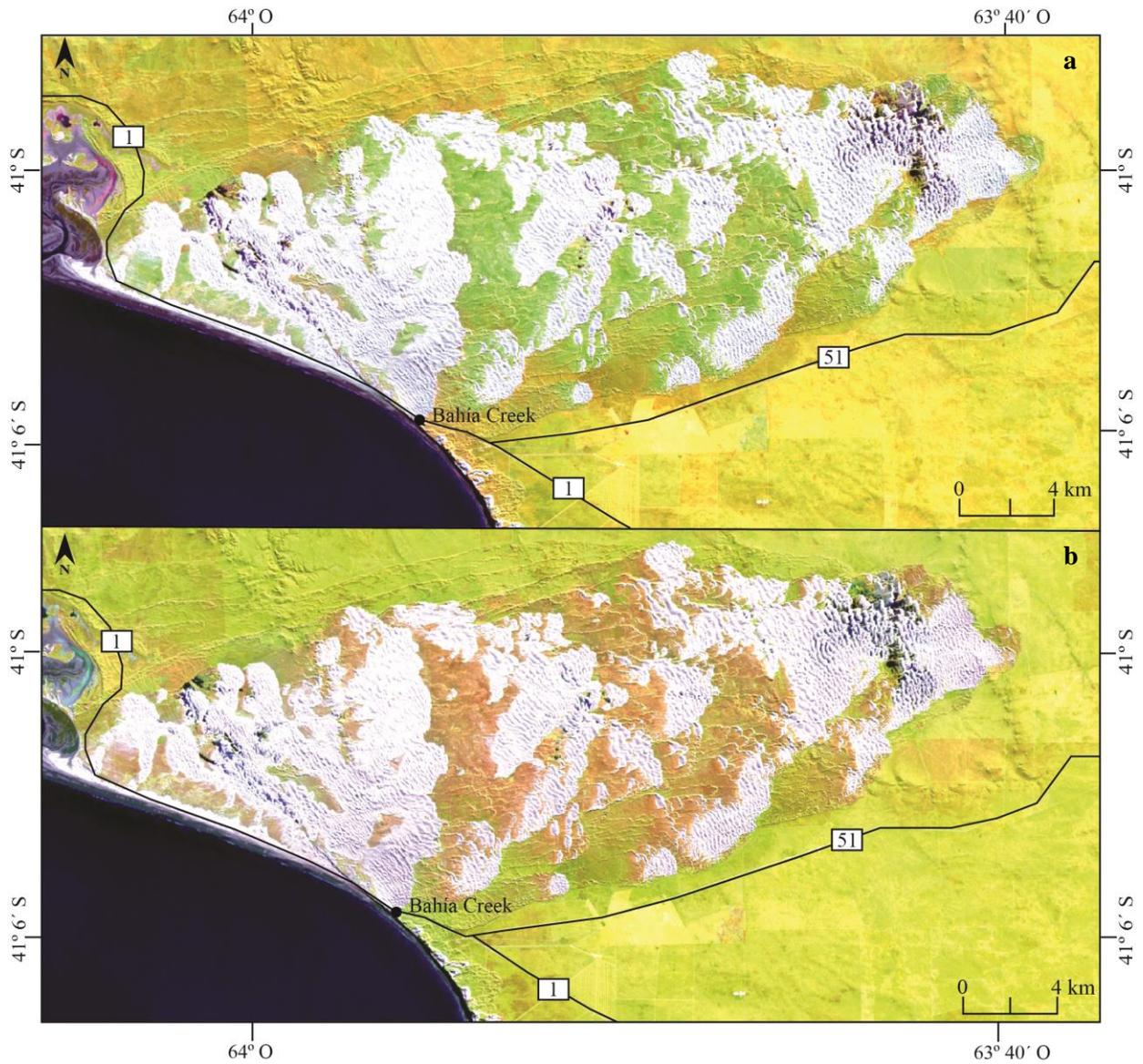


Figura 4.9. Combinación de bandas de imágenes *Landsat* 8. a corresponde a la combinación RGB 562 (vegetación sana) y b corresponde a la combinación RGB 652 (agricultura).

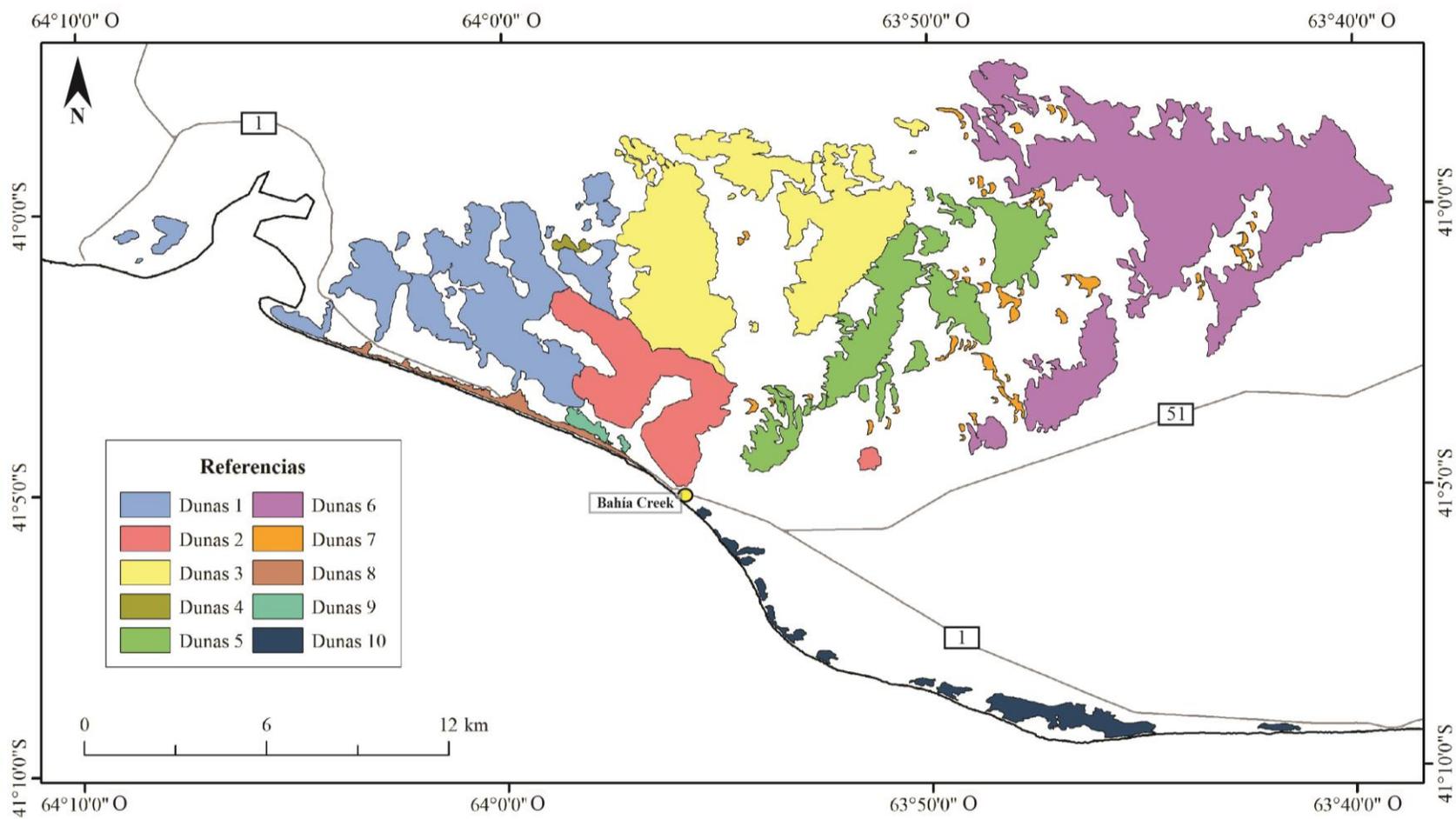


Figura 4.10. Ubicación de los distintos tipos de dunas clasificadas dentro del área de estudio.

*Dunas 1*: es la unidad más heterogénea, posee tanto dunas compuestas como complejas, se ubica en el sector occidental del área de estudio (Fig. 4.10 y 4.11). En general presenta cordones de dunas transversales con las crestas orientadas SE – NO y en menor medida N – S, inclinando hacia el E – NE, que sobre sus caras de barlovento presentan superpuestas otras formas transversales o barjanoides de manera perpendicular. Globalmente avanzan aproximadamente hacia el NE. Además, hay zonas donde parece verse reflejado el régimen de viento de múltiples direcciones, donde no se logró establecer una dirección de avance para las dunas, teniendo características de dunas estrella. Poseen zonas de interduna en general seca y sin abundante vegetación.

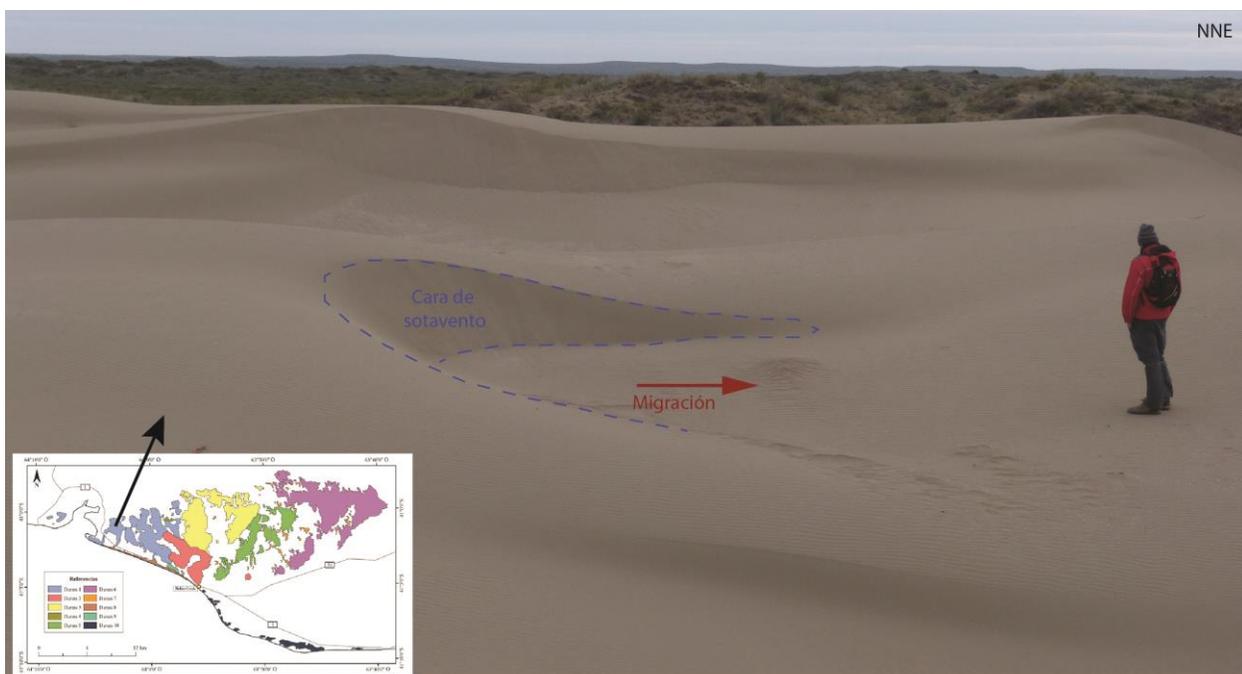


Figura 4.11. Barjón perteneciente a las dunas 1, donde se puede apreciar bien la cara de sotavento y la dirección de migración según sus brazos.

*Dunas 2*: se trata de dunas longitudinales, con su cara de deslizamiento inclinando hacia el SO, rumbo  $140^\circ$  (NO – SE) y espaciadas 100 – 200 metros (Figs. 4.10 y 4.12). A su vez, presentan formas barjanoides de menor tamaño, con sus crestas orientadas principalmente E – O, que en algunas ocasiones coinciden con los flancos de las dunas longitudinales. En ciertos casos, teniendo en cuenta la variabilidad en las direcciones del viento, en este sector podrían desarrollarse también dunas inversas u oblicuas. Poseen interdunas secas, y en algunos corredores paralelos a las dunas longitudinales, se aprecian zonas con cierta vegetación. Estas

dunas resultan de vital importancia para el presente estudio ya que son las que se encuentran más cerca del área donde está asentada la población, inclusive topándose con algunas casas.

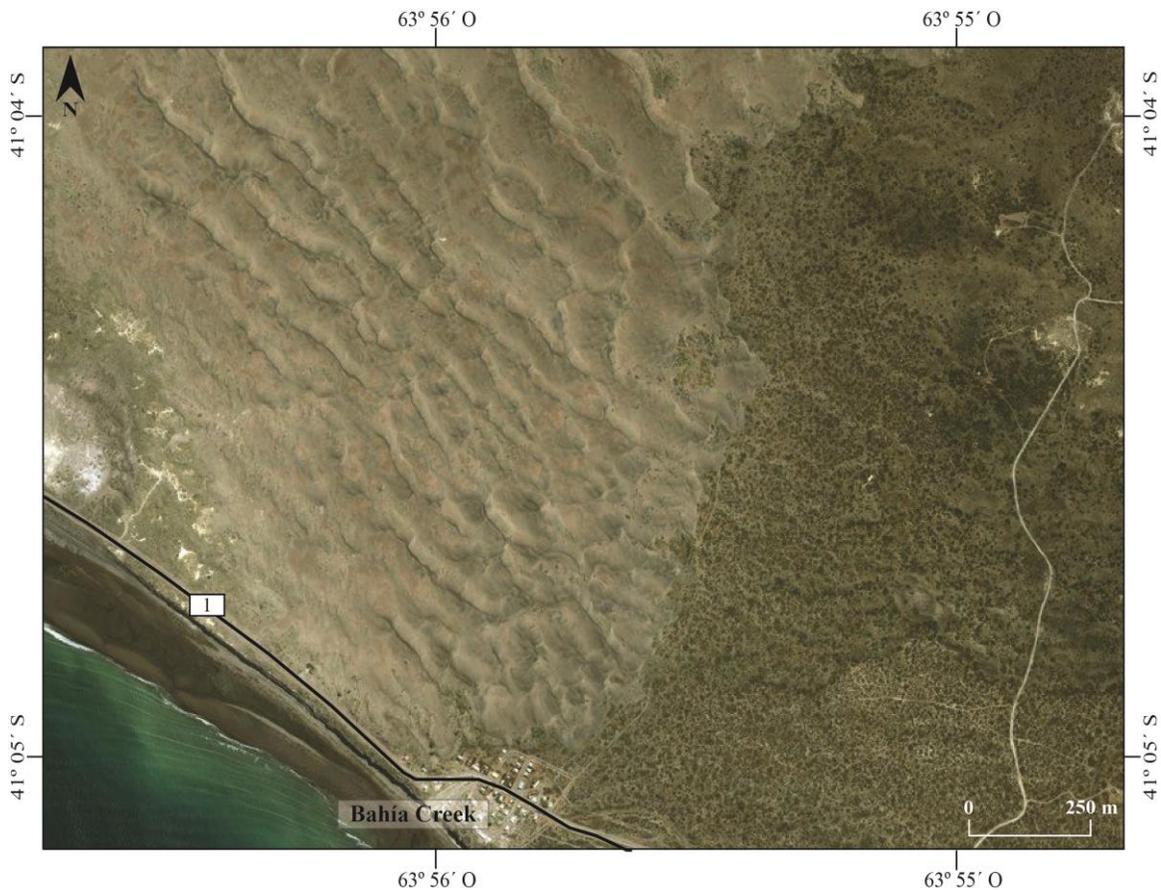


Figura 4.12. En la izquierda de la imagen se observan las dunas longitudinales con desplazamiento hacia el SE, donde se encuentra la localidad de Bahía Creek. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

*Dunas 3*: estas dunas se ubican al N de las anteriores y al E de las primeras (Fig. 4.10). Están compuestas por barjanes y barjanoides (Fig. 4.13) con sus crestas orientadas NO – SE y O – E mayormente, que migran hacia el E – NE (en dirección del viento), siendo en ocasiones parte de las caras de barlovento de cordones de dunas transversales que tienen el mismo sentido de desplazamiento. Además se observaron dunas oblicuas con rumbos de sus crestas de  $90^\circ$  y  $180^\circ$  que en su conjunto migran hacia el E y algunas dunas inversas con orientación de sus crestas O – E. Poseen interdunas en su mayoría secas y con escasa vegetación.

*Dunas 4*: se trata de un pequeño sector ubicado entre las dunas 1 (Fig. 4.10) donde las caras de deslizamiento se disponen en variadas direcciones y en su conjunto no registran un gran avance a través de los últimos treinta años, de esta forma han sido clasificadas como dunas estrella compactas (Fig. 4.14), más teniendo en cuenta las direcciones cambiantes del viento en el área de estudio.



Figura 4.13. Dunas en su mayoría barjanes con orientación predominante de sus brazos al N – NE. Imagen original extraída de *Google Earth*.

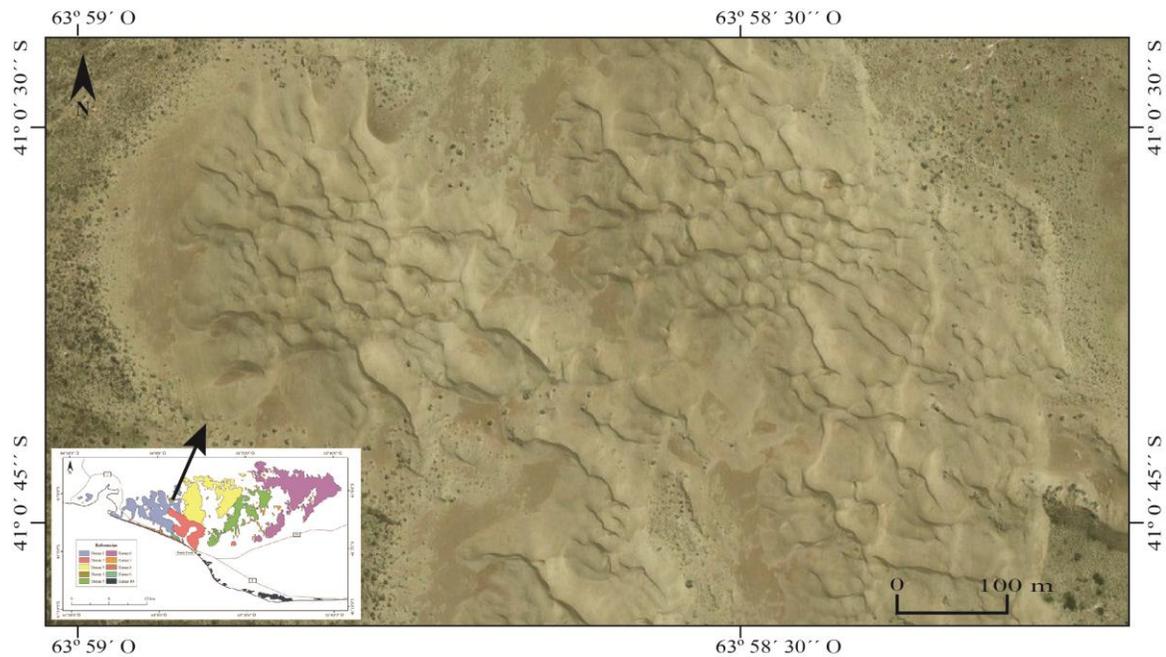


Figura 4.14. Dunas estrella en la parte superior izquierda y central superior. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

*Dunas 5*: se encuentra más al E (Fig. 4.10) y poseen algunos de los lugares con mayor vegetación dentro de las dunas activas, desarrollándose *blowouts* y *nebkas*. Además hay cordones transversales con sus crestas orientadas O – E y SO – NE con dunas barjanoides y transversales en la misma dirección sobre su cara de barlovento, junto con alguna acumulación longitudinal O – E. Posee interdunas secas y con cierta vegetación pero ésta se dispone mayormente en los bordes del conjunto de dunas activas.

*Dunas 6*: son las que se ubican más al este en el área de estudio (Fig. 4.10) y poseen una gran superficie (Fig. 4.15). Se trata esencialmente de dunas transversales con la orientación de sus crestas N – S y NO – SE, junto con algunos cordones longitudinales con sus crestas orientadas O – E, que a veces complejizan las dunas transversales al ubicarse en sus caras de barlovento, llegando en ocasiones a asemejarse a dunas estelares. Al oeste de algunas acumulaciones a su vez se distinguen formas parabólicas. Poseen zonas de interduna en ocasiones húmeda que junto con las secas, representan áreas de moderada vegetación.

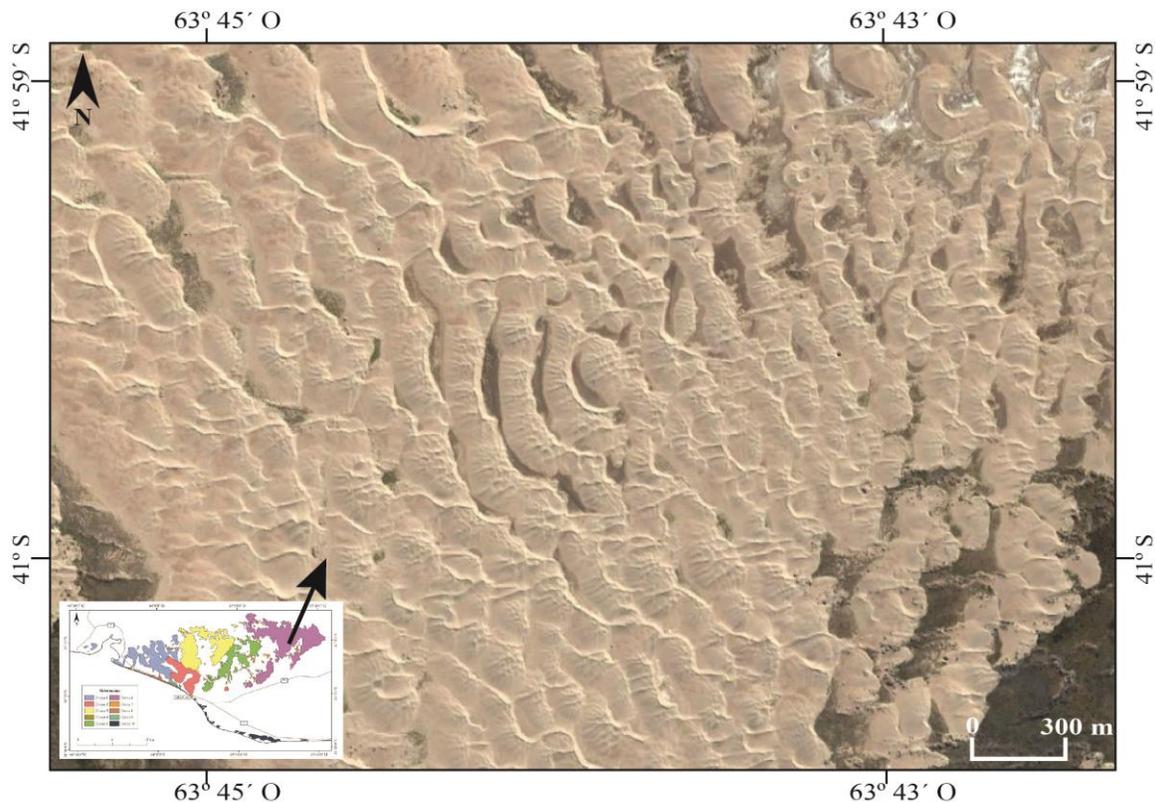


Figura 4.15. Cordones transversales complejos con sentido de migración NE. Imagen original extraída de *Google Earth*..

*Dunas 7*: son dunas parabólicas en su mayoría compuestas que generalmente se encuentran de manera individual (Fig. 4.16), habiendo mayor cantidad hacia el este (Fig. 4.10), esparcidas por zonas que no cuentan con gran acumulación de arena. Avanzan aproximadamente hacia el E y por sus características son las que poseen mayor cantidad de vegetación.

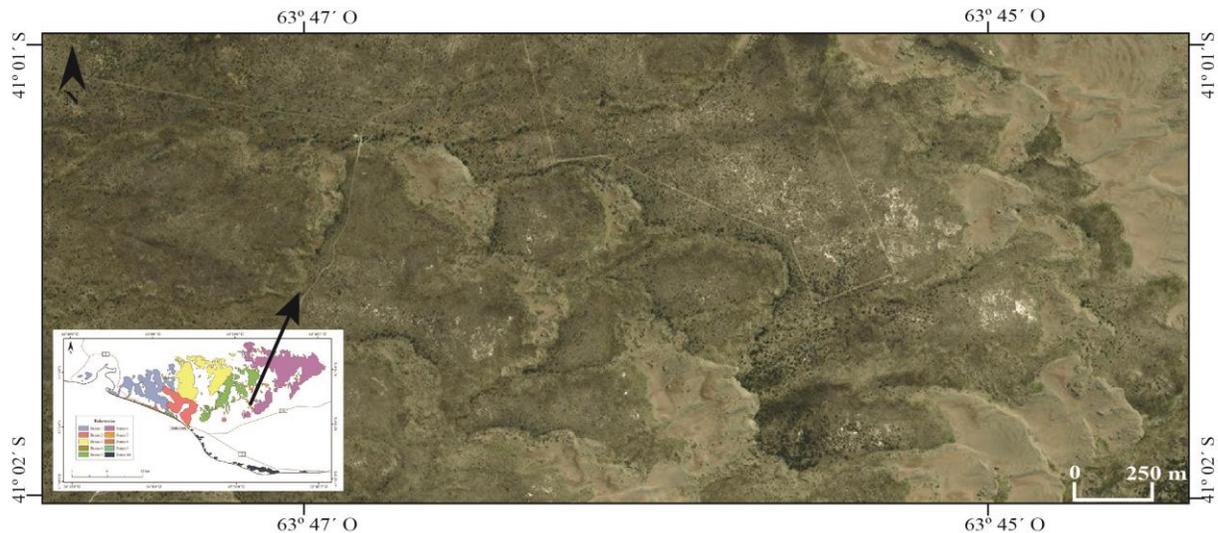


Figura 4.16. Dunas parabólicas con sentido de avance E – NE. Al contrario de los otros tipos de dunas sus brazos se disponen del lado donde sopla el viento. Imagen original extraída de *Google Earth*.

*Dunas 8*: las dunas embrionarias se encuentran a lo largo de la costa donde no hay acantilado (Fig. 4.10), son las primeras acumulaciones de arena desde la playa y paralelas a la misma. Comprenden una faja de escasos 50 metros (Fig. 4.17) y poseen vegetación, aunque no tan abundante como el 90% esperado según Sanjaume y Gracia (2011). A su vez, como hay una cierta cantidad de arena para acumularse, en algunos sectores a continuación de las anteriores, se disponen dunas delanteras, que alcanzan mayores tamaños que las embrionarias y poseen menos vegetación.



Figura 4.17. Dunas embrionarias y delanteras (con detalle de cómo se ven en el campo), primeras acumulaciones de arena entre la playa y el continente. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

*Dunas 9*: donde aflora el acantilado hay dunas remontantes con dirección de migración hacia el NE (Fig. 4.10), que en ocasiones llegan a establecerse por encima de ese acantilado (Fig. 4.18).

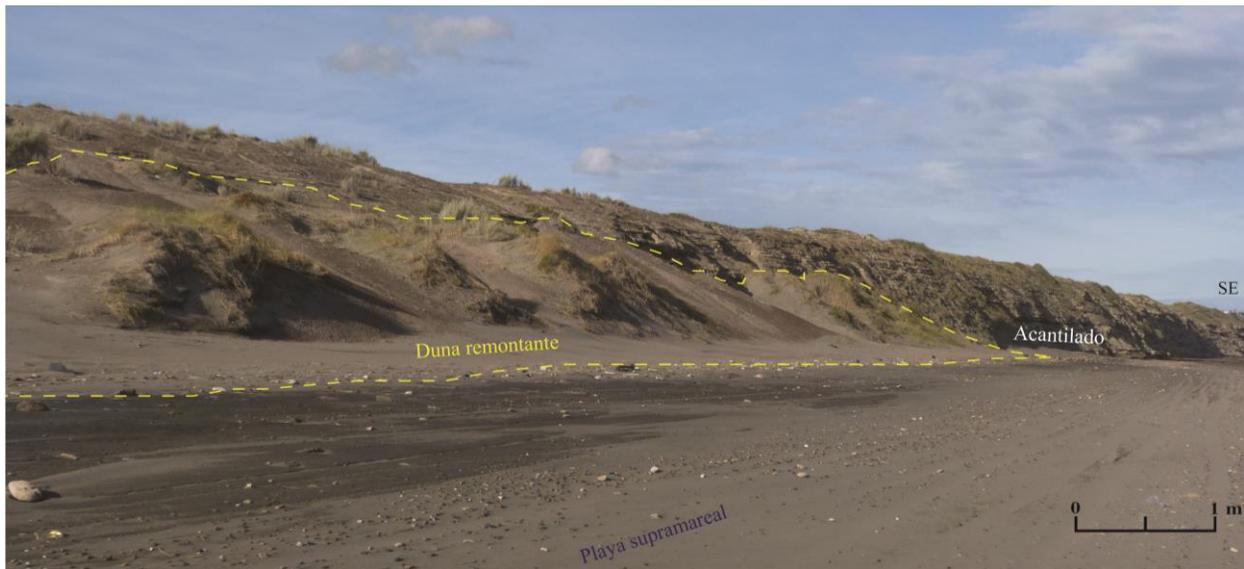


Figura 4.18. Duna remontante desarrollada cerca del final del acantilado al O de Bahía Creek.

*Dunas 10*: por último, de manera interrumpida sobre el acantilado activo (Fig. 4.10), se pudieron reconocer dunas colgadas (Fig. 4.19). Estas dunas constituyen una angosta faja, que en general no superan los 100 metros de ancho desde el borde del acantilado. Las dunas colgadas

surgen del material que ha ido escalando por los acantilados, movilizado por vientos provenientes del mar (González Díaz y Malagnino, 1984).

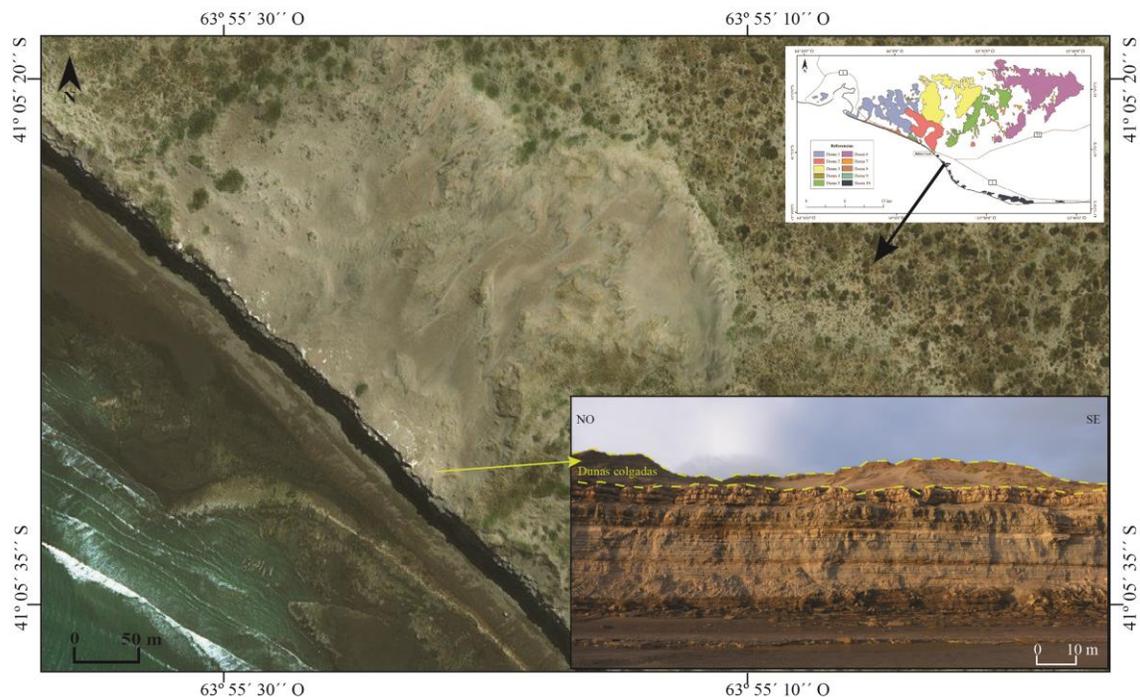


Figura 4.19. Vista aérea de duna colgada en el borde del acantilado. Imagen satelital original extraída de *Bing Maps*.

Además de las aquí mencionadas, también se pudieron registrar en el campo dunas eco, (Fig. 4.20 a), dunas descendentes desde el acantilado (Fig. 4.20 b), dunas envolventes (Fig. 4.20 c), nebkas (Fig. 4.20 d) y mantos de arena (Fig. 4.20 e). Las dunas eco se desarrollan a partir de obstáculos como el acantilado y las dunas envolventes a partir de construcciones realizadas por el hombre. Los nebkas se asocian a vegetación desarrollada principalmente en los bordes de las zonas con dunas activas, y dentro de estas zonas, también pueden observarse mantos de arena que no alcanzan a formar una acumulación significativa de arena como para ser considerados una duna. Los mantos eólicos pueden formarse por la presencia de vegetación, las esporádicas inundaciones y una provisión insuficiente de arena (Tripaldi *et al.*, 1998).

En general, en el espacio referido al área de estudio, por su altura, se trata de dunas bajas (hasta 6 m) y en ocasiones moderadas (6 – 24 m). También como características generales para todas las dunas se puede decir que cuentan con caras de sotavento con mayor ángulo de inclinación que las caras de barlovento (tabla 4.1) y sus crestas están espaciadas entre alrededor de 10 y 200 metros.

Duna	Ángulo cara barlovento	Ángulo cara sotavento
BCduna02	17°	34°
BCduna02	11°	37°
BCduna03	21°	37°
BCduna03	20°	34°
BCduna04	18°	34°
BCduna05	11°	33°
BCduna06	8°	29°
BCduna07	18°	37°
Promedio	<b>15,5°</b>	<b>34,375°</b>

Tabla 4.1. Ángulo de inclinación de las caras de barlovento y sotavento de las dunas muestreadas, su ubicación se puede observar en la figura 5.1.

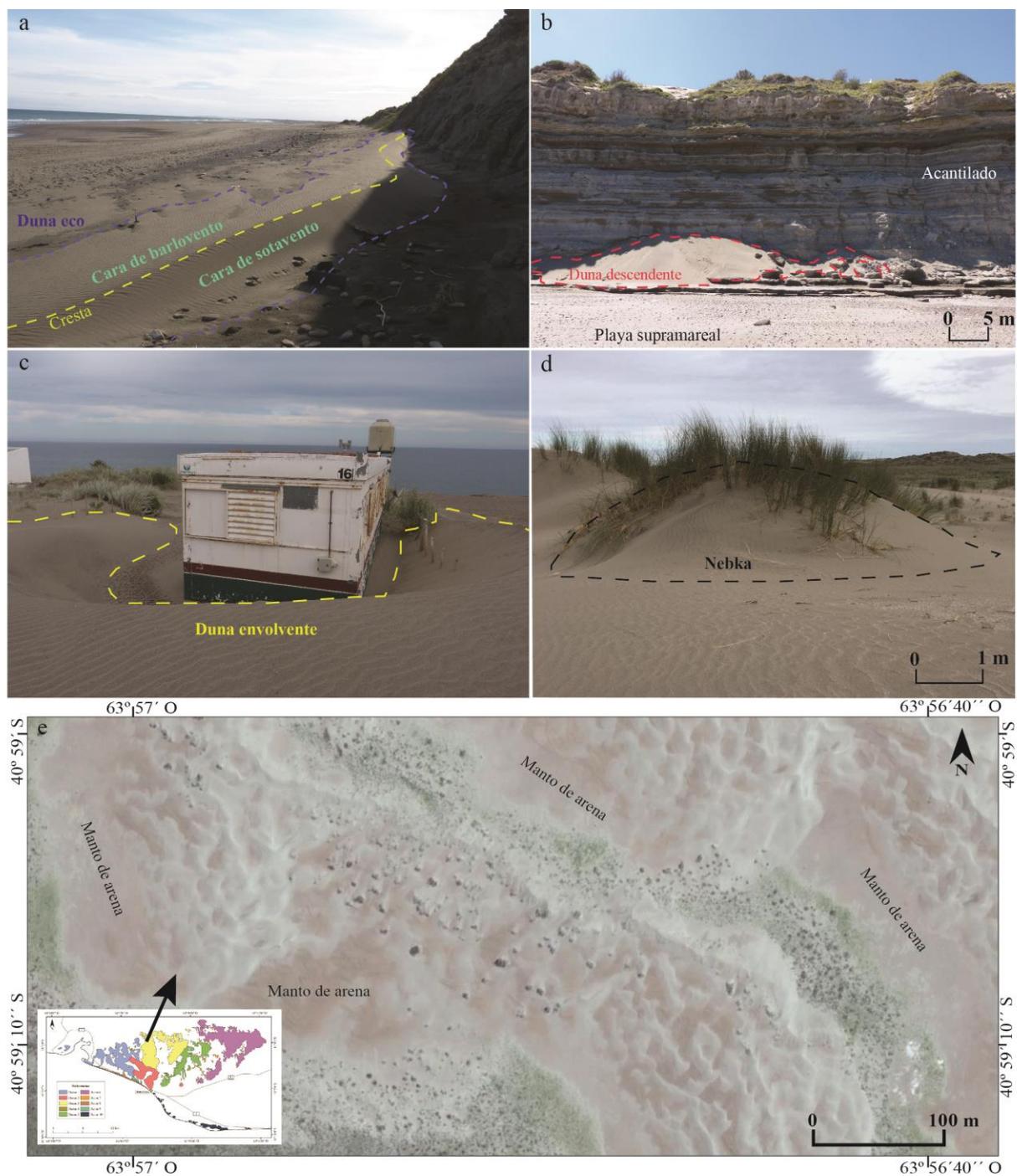


Figura 4.20. a: duna eco al pie del acantilado (dirección de avance SO – NE). b: duna descendente desde el acantilado. c: duna envolvente formada por la presencia de una casilla de “habitación”. d: nebka. e: los tonos más oscuros representan un manto de arena y los puntos oscuros sobre este corresponden a vegetación a partir de la cual se desarrollan nebkas.

### 4.2.3 Geoformas continentales

*Antigua planicie aluvial:* dentro de la zona de estudio abarca una gran área entre la porción continental (Fig. 4.1) y tiene grandes implicancias en lo referido al ordenamiento territorial, tema que será abordado en el capítulo 8. Un rasgo destacado de esta planicie son los bajos menores (menos de 1 km de diámetro y pendiente menor a 1%) con cierta orientación NE, provocada por efectos de la tectónica cuaternaria (González Díaz y Malagnino, 1984).

*Depósitos de remoción en masa:* están principalmente representados por caída de bloques y deslizamientos rotacionales, siendo estos últimos de mayor tamaño y ambos los responsables del retroceso del acantilado. Los dos tipos de movimientos se han registrado en el mapa geomorfológico (Fig. 4.1) y en fotografías de la zona de estudio (Fig. 4.21).



Figura 4.21. Material caído al pie del acantilado producto de procesos de remoción en masa.

## 5. ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS SEDIMENTOS LITORALES

El estudio realizado en este capítulo tiene como finalidad conocer, mediante las características texturales de cada muestra, el área de aporte de los sedimentos dunares y cómo se desplaza el material sedimentario en general dentro del sistema. El conocimiento de esta dinámica del sistema, sumado a las direcciones efectivas de viento, va a permitir conocer el avance de las dunas y cuales serían sitios vulnerables para el asentamiento humano.

### 5.1. Metodología

A partir de 33 muestras tomadas en puntos estratégicos del área de estudio (Fig. 5.1), de las cuales las cuales 23 corresponden a dunas (dentro de estas “a” representa cara de barlovento, “b” cresta, “c” cara de sotavento y “d” interduna), 6 a la playa, 2 al acantilado, 1 al paleoacantilado y 1 a la caleta, se realizó su tamización durante diez a quince minutos cada una (Metz, 1985; Román Sierra *et al.*, 2013) mediante tamizadora Ro – Tap, que realiza un movimiento concéntrico permanente junto con un continuo golpeteo. Para las arenas provenientes de dunas, sectores del acantilado y la caleta, se utilizaron todos los tamices disponibles en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) dentro del tamaño de grano psamítico en la escala de Udden – Wentworth, tratando de incluir la mayor cantidad de tamices con valores de raíz cuarta de dos sugeridos por Scasso y Limarino (1997) para material eólico. De esta manera se consiguió finalmente un total de 9 tamices con aberturas de 1000, 500, 250, 177, 149, 125, 105, 88 y 62  $\mu\text{m}$ . Esta escala es similar a estudios realizados sobre material eólico por Friedman (1961) y distinto a otros estudios hechos para los mismos sedimentos por Wadhawan (1996) y Fernández *et al.* (2003), donde solo fueron utilizados los valores de raíz cuadrada de dos. Para las muestras de playa, la escala utilizada también fue la de tamaño arena, sin embargo, se quitaron los tamices de raíz cuarta de dos (149 y 105  $\mu\text{m}$ ), utilizándose solamente los de raíz cuadrada de dos, suficientes para este tipo de arenas (Scasso y Limarino, 1997). Es importante resaltar que con este método se mide el diámetro intermedio de las partículas, ya que regula el paso de las mismas a través de las aberturas de los tamices (Scasso y Limarino, 1997).

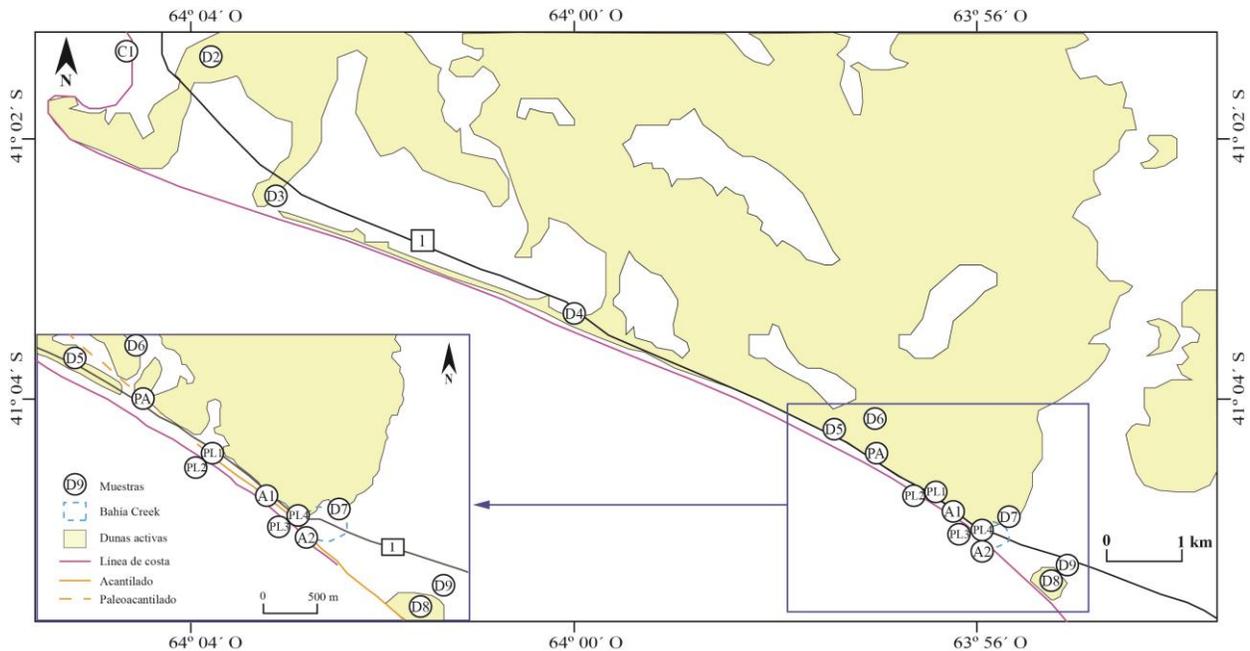


Figura 5.1. Mapa con los sitios de muestreo. C: caleta, D: duna, A: acantilado, PA: paleoacantilado y PL: playa.

Luego, para conocer cuánto material corresponde tanto al total ingresado inicialmente a la tamizadora (con valores entre 95 – 110 gramos para este estudio, similares a los utilizados por Román Sierra *et al.*, 2013) como a cada una de las fracciones retenidas en los sucesivos tamices, apilados verticalmente de mayor a menor abertura, se pesó cada una de estas fracciones en una balanza de precisión de  $\pm 0,001$  g. De esta manera se deduce qué porcentaje en peso de la muestra corresponde a cada granulometría específica o subpoblación. Con estos datos fue posible confeccionar histogramas y curvas acumulativas de escala aritmética para cada muestra y obtener la mediana y moda a través del método gráfico y media, selección, asimetría y agudeza (curtosis) a través del método de los momentos y según la clasificación de Folk y Ward (1957) de cada muestra también, para poder clasificarlas y compararlas de acuerdo a las escalas propuestas por McManus (1990) modificado en Scasso y Limarino (1997). A su vez se construyeron gráficos binarios de simetría vs selección y media vs simetría y se realizó una prueba de Kruskal – Wallis, esta última mediante el programa R versión 3.4.1 (R Core Team 2017), para comprender la interrelación entre las muestras y su caracterización regional.

Además cabe destacar que se consideró que las muestras poseen una distribución normal para su cálculo. Esto pudo ser posible porque los valores de la media, mediana y moda para cada muestra entre sí son similares (Scasso y Limarino, 1997).

## 5.2. Resultados

Los valores de las fracciones retenidas en cada tamiz de cada muestra se encuentran expresados en la Tabla 5.1 junto con histogramas y curvas de frecuencia acumulada. Se destaca la mayor cantidad de material retenido en los tamices de 250 y 177 micrones, quedando prácticamente todo el material dentro del tamaño arena, correspondiéndose con el origen eólico del mismo. Las muestras que presentan mayor cantidad de materiales finos son BCduna09 y BCpaleocant, que corresponden a la duna vegetada y al paleocantilado respectivamente. A su vez en la playa se observaron los sedimentos más gruesos (BCplaya2, BCplaya3 y BCplaya4), incluyendo valores por encima de 1000 micras, estando prácticamente ausentes en el resto de las muestras.

Muestra/Tamiz	$\mu\text{m}$ <i>phi</i>	1000	500	250	177	149	125	105	88	62	<62	Total
			1	2	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	<4	
BCduna03a		0	0.111	15.214	54.642	22.090	6.433	1.071	0.343	0.088	0.008	100
BCduna03b		0	0.052	38.632	51.452	7.583	1.871	0.336	0.063	0.011	0	100
BCduna03c		0	0.000	17.334	56.665	18.355	6.049	1.179	0.359	0.060	0	100
BCduna03d		0.051	3.451	44.425	38.761	9.689	2.941	0.574	0.093	0.014	0	100
BCduna06a		0.002	0.112	30.922	39.410	15.396	9.734	3.210	1.052	0.162	0	100
BCduna06b		0.013	0.273	53.800	35.689	6.364	2.634	0.885	0.283	0.059	0	100
BCduna06c		0.008	0.148	36.779	38.152	12.707	8.785	2.703	0.655	0.063	0	100
BCduna06d		0.114	1.695	42.474	33.283	11.099	6.832	2.834	1.173	0.431	0.065	100
BCduna04a		0	0.072	45.880	45.342	5.697	2.140	0.630	0.205	0.034	0	100
BCduna04b		0	0.035	45.710	44.448	6.673	2.322	0.598	0.189	0.024	0	100
BCduna04c		0	0.065	48.112	41.357	7.206	2.480	0.569	0.191	0.021	0	100
BCduna07a		0	0.027	43.653	39.212	9.912	4.553	1.712	0.691	0.237	0.002	100
BCduna07b		0.005	1.111	57.736	30.929	6.103	2.722	0.832	0.383	0.177	0.001	100
BCduna07c		0	0.112	47.670	36.134	8.823	4.708	1.615	0.678	0.254	0.006	100
BCduna05b		0	0.204	47.538	37.433	9.241	3.971	1.293	0.290	0.030	0	100
BCduna05c		0	0.158	36.064	43.363	12.674	5.739	1.585	0.388	0.029	0	100
BCduna05a		0	0.058	63.526	29.715	4.137	1.717	0.640	0.191	0.016	0	100
BCduna02d		0.037	0.778	16.328	50.678	24.140	6.554	1.062	0.342	0.079	0.002	100
BCduna02c		0	0.002	6.363	57.050	28.066	7.014	1.171	0.282	0.052	0	100
BCduna02b		0	0.090	16.737	58.270	19.331	4.397	0.875	0.247	0.054	0	100
BCduna02a		0.009	0.264	17.201	60.752	14.456	5.603	1.088	0.478	0.148	0.001	100
BCduna08		0.016	0.554	49.505	34.611	8.276	4.679	1.475	0.638	0.244	0.001	100
BCduna09		0.251	1.487	27.032	28.775	16.922	15.586	3.617	2.867	2.786	0.678	100
BCacant1		0.024	2.976	53.051	29.066	9.005	4.047	0.996	0.496	0.286	0.052	100
BCacant2		0.043	6.015	44.792	39.068	7.167	2.071	0.505	0.234	0.104	0.001	100
BCpaleocant		0	4.985	15.855	30.086	21.943	18.029	5.207	2.305	1.303	0.287	100
BCmplaya1		0	0.163	53.449	34.560	0.000	10.222	0.000	1.543	0.054	0.009	100
BCmplaya2		1.048	3.097	47.620	36.703	0.000	9.785	0.000	1.641	0.092	0.013	100
BCduna03(playa)		0.003	0.919	45.954	34.987	0.000	15.654	0.000	2.412	0.058	0.013	100
BCmplaya3		3.730	0.850	50.770	29.791	0.000	13.189	0.000	1.644	0.025	0.002	100
BCmplaya4		11.193	3.046	56.078	23.721	0.000	5.345	0.000	0.586	0.031	0.001	100
BCduna05(playa)		0	0.095	49.272	40.870	0.000	8.702	0.000	1.031	0.029	0.000	100
BCcaleta		0	0.115	8.297	39.001	31.529	17.263	2.807	0.669	0.232	0.087	100

Tabla 5.1. Valores porcentuales recalculados al 100% retenidos en de cada fracción luego de realizar el tamizado de las muestras.

Además las muestras con mejor selección (tabla 5.2) resultaron ser las provenientes de las dunas, con un total de 15 muy bien seleccionadas, 7 bien seleccionadas y 1 extremadamente bien seleccionada. Esto se espera para los sedimentos eólicos ya que disminuyen los valores de selección en la dirección del viento debido a la abrasión, estando progresivamente mejor seleccionados (Wadhawan, 1996). Muy buena selección también presenta la muestra tomada en la caleta, en cambio de las muestras tomadas en la playa solo 2 tiene muy buena selección, otras 2, buena selección y las restantes moderada y mala selección. Finalmente, las muestras del acantilado y paleoacantilado están bien seleccionadas.

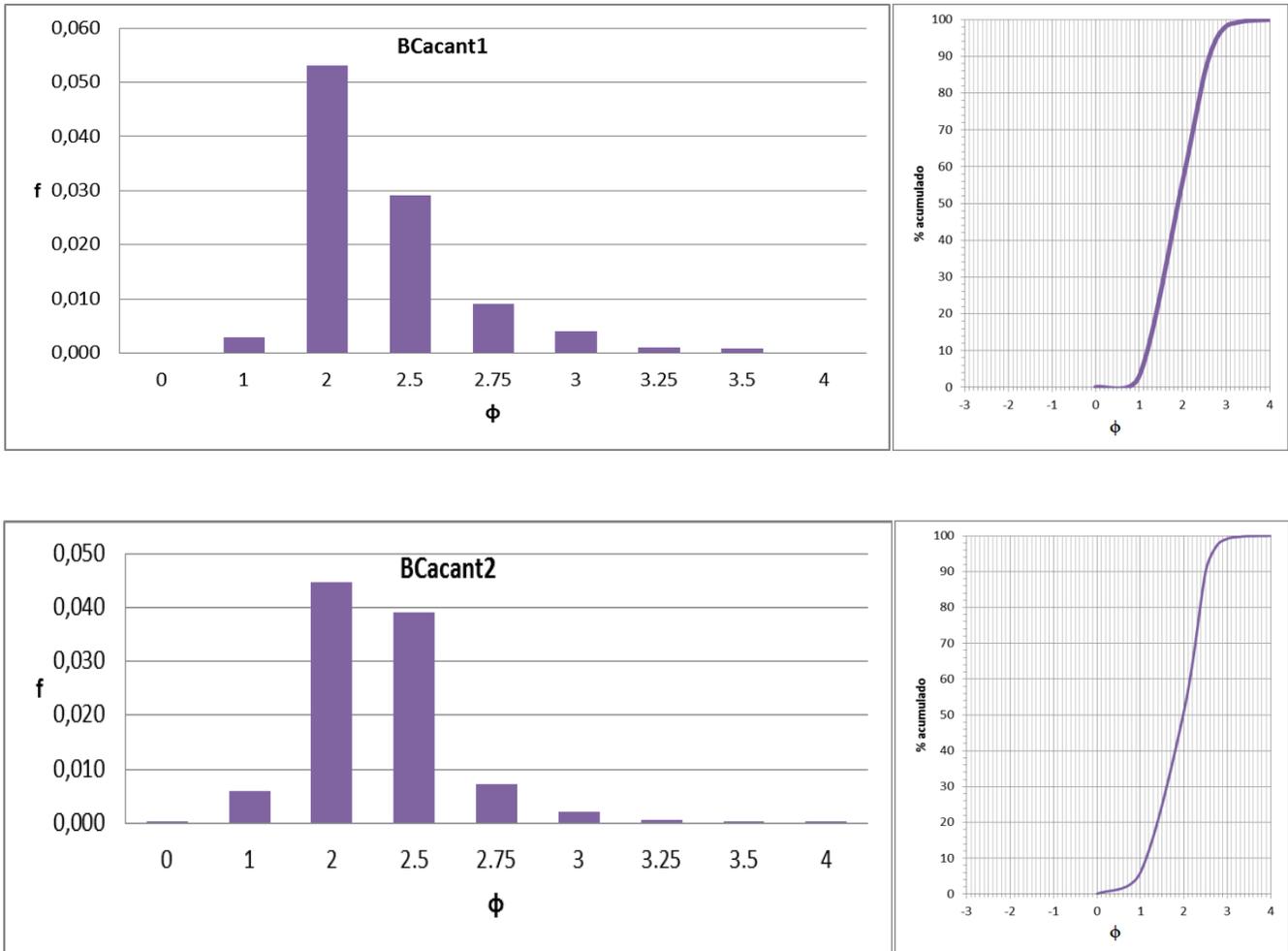
Muestra	Tipo de distribución	Media	Mediana	Moda	Selección		Asimetría		Agudeza		Clasificación
BCacant1	U	1.88	1.9	2	0.55	BS	-0.28	AN	3.35	EL	AM
BCacant2	U	1.86	2	2	0.56	BS	0.41	MAP	3.31	EL	AM
BCpaleoacant	U	2.34	2.5	2.5	0.67	BS	0.82	MAP	4.09	EL	AF
BCcaleta	U	2.45	2.5	2.5	0.40	MBS	0.61	MAP	4.72	EL	AF
BCmplaya1	U	1.91	2	2	0.48	MBS	-0.64	MAN	2.48	ML	AM
BCmplaya2	U	1.88	1.95	2	0.59	BS	0.54	MAP	4.98	EL	AM
BCmplaya3	U	1.86	1.9	2	0.72	MoS	0.83	MAP	5.45	EL	AM
BCmplaya4	U	1.50	1.7	2	0.85	MS	1.14	MAP	4.10	EL	AM
BCduna03(playa)	U	1.99	2.1	2	0.53	BS	-0.28	AN	2.44	ML	AM
BCduna05(playa)	U	1.93	2	2	0.46	MBS	-0.45	MAN	2.20	ML	AM
BCduna02a	U	2.22	2.3	2.5	0.41	MBS	0.50	MAP	4.18	EL	AF
BCduna02b	U	2.23	2.35	2.5	0.39	MBS	0.60	MAP	3.53	EL	AF
BCduna02c	U	2.36	2.4	2.5	0.32	EBS	0.55	MAP	4.79	EL	AF
BCduna02d	U	2.26	2.35	2.5	0.44	MBS	0.94	MAP	4.87	EL	AF
BCduna03a	U	2.27	2.35	2.5	0.40	MBS	0.57	MAP	3.70	EL	AF
BCduna03b	U	2.00	2.15	2.5	0.42	MBS	0.09	S	1.94	ML	AF
BCduna03c	U	2.24	2.3	2.5	0.40	MBS	0.45	MAP	3.16	EL	AF
BCduna03d	U	1.91	2.05	2	0.53	BS	0.33	MAP	3.12	EL	AM
BCduna04a	U	1.95	2.1	2	0.44	MBS	-0.26	AN	2.08	ML	AM
BCduna04b	U	1.95	2.1	2	0.44	MBS	-0.26	AN	1.99	ML	AM
BCduna04c	U	1.94	2	2	0.45	MBS	-0.34	MAN	2.00	ML	AM
BCduna05a	U	1.81	1.85	2	0.43	MBS	-0.94	MAN	2.80	ML	AM
BCduna05b	U	1.96	2	2	0.48	MBS	-0.37	MAN	2.14	ML	AM
BCduna05c	U	2.08	2.2	2.5	0.49	MBS	-0.04	MAN	2.11	ML	AF
BCduna06a	U	2.18	2.3	2.5	0.52	BS	0.01	S	2.18	ML	AF
BCduna06b	U	1.89	1.9	2	0.46	MBS	-0.54	MAN	2.53	ML	AM
BCduna06c	U	2.10	2.2	2.5	0.52	BS	-0.11	AN	2.07	ML	AF
BCduna06d	U	2.03	2.1	2	0.58	BS	-0.13	AN	3.12	EL	AF
BCduna07a	U	2.01	2.1	2	0.50	MBS	-0.41	MAN	2.33	ML	AF
BCduna07b	U	1.85	1.9	2	0.48	MBS	-0.59	MAN	3.16	EL	AM
BCduna07c	U	1.98	2.05	2	0.51	BS	-0.52	MAN	2.46	ML	AM
BCduna08	U	1.95	2	2	0.51	BS	-0.47	MAN	2.69	ML	AM
BCduna09	Bi	2.30	2.4	2.5	0.68	BS	0.07	S	3.68	EL	AF

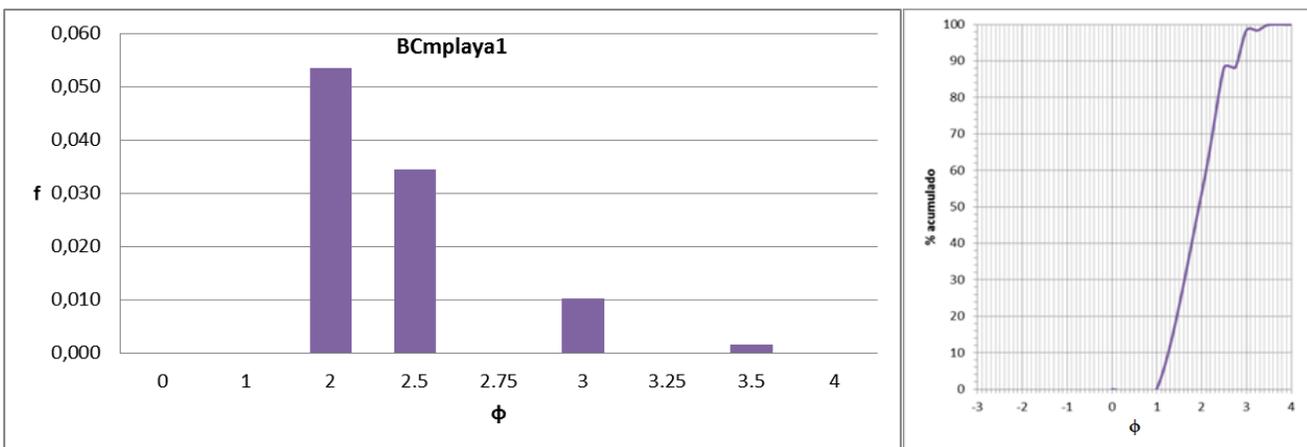
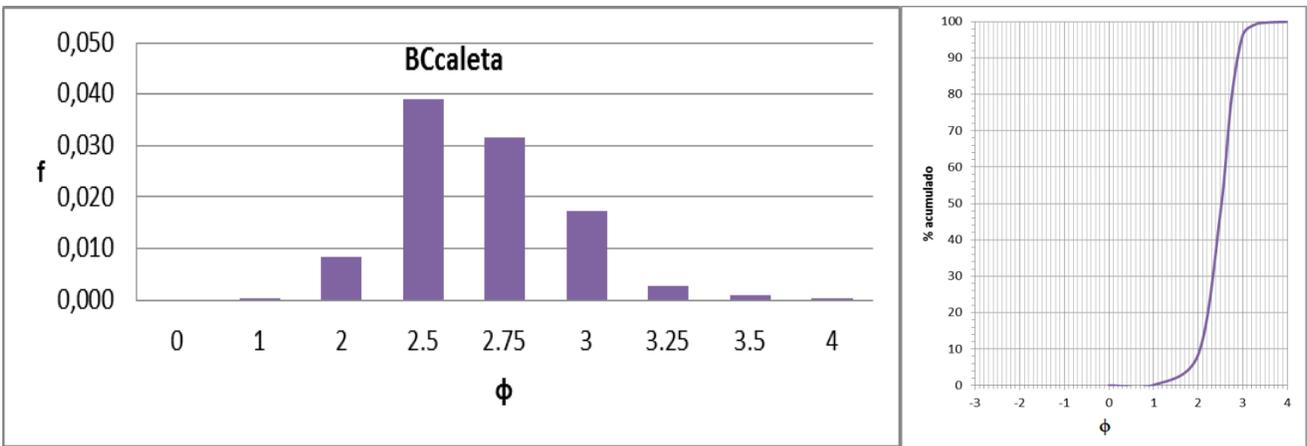
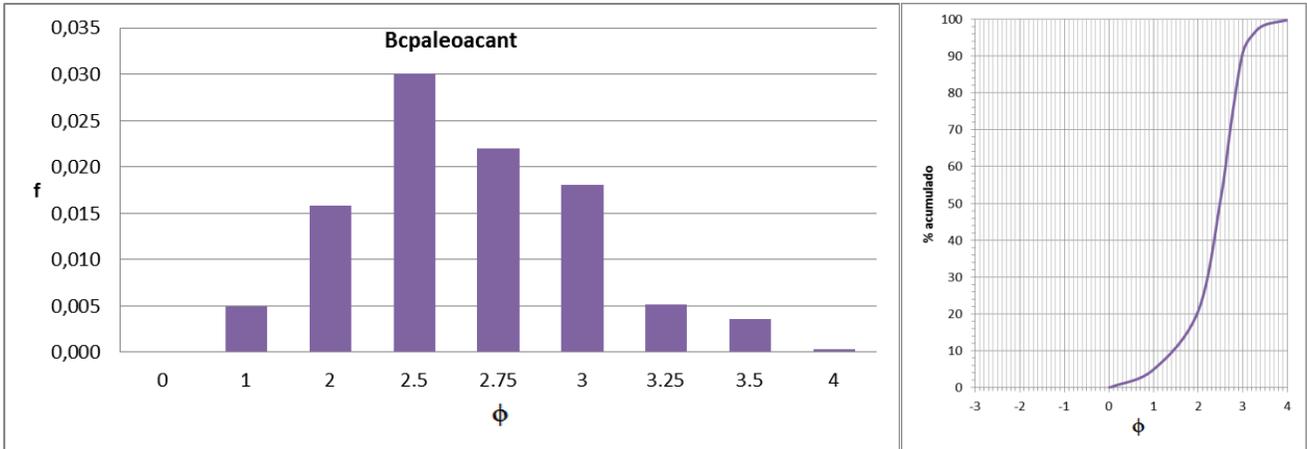
Tabla 5.2. Parámetros estadísticos de las muestras. La media, mediana y moda están expresadas en  $\phi$ . Referencias: U: unimodal, Bi: bimodal. MS: mala selección, MoS: moderada selección, BS: buena selección, MBS: muy buena selección, EBS: extremadamente buena selección. MAN: muy asimétrica negativa, AN: asimétrica negativa, S: simétrica, AP: asimétrica positiva, MAP: muy asimétrica positiva. ML: muy leptocúrtica, EL: extremadamente leptocúrtica. AM: arena media, AF: arena fina.

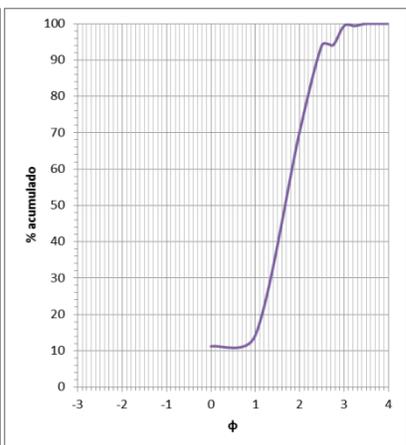
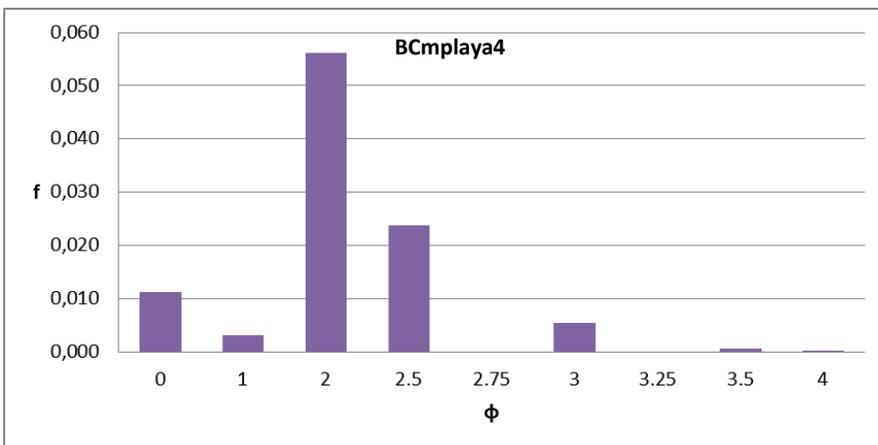
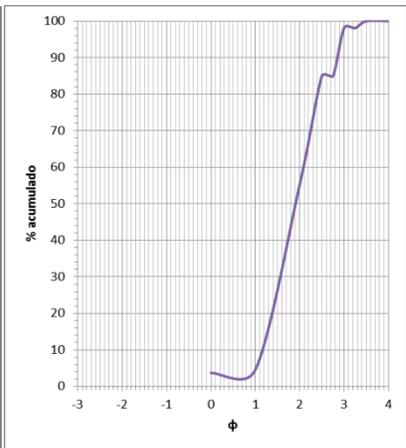
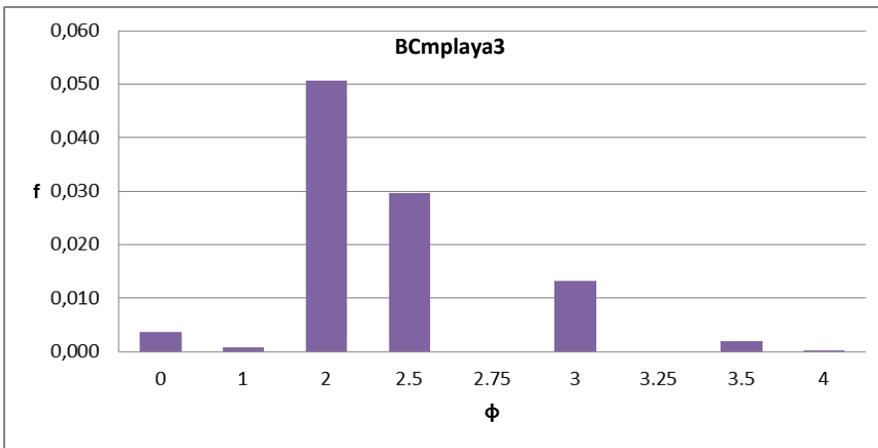
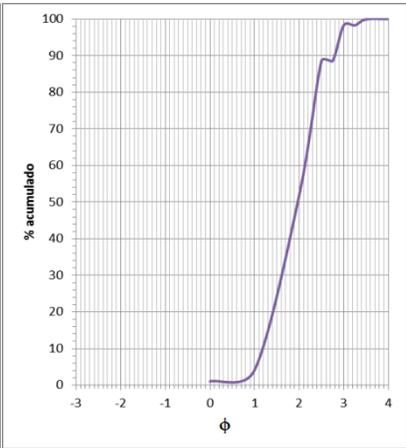
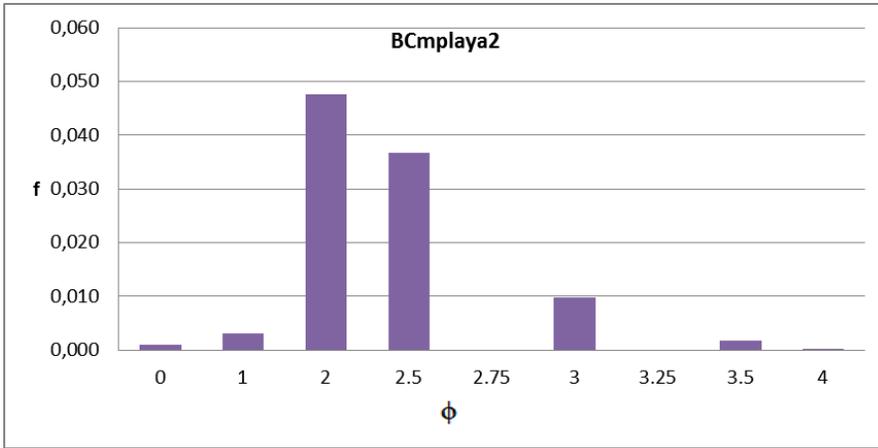
En cuanto a la distribución casi todas las muestras tienen distribución unimodal, salvo la correspondiente a la duna vegetada, que además de la moda más común ya expresada para el

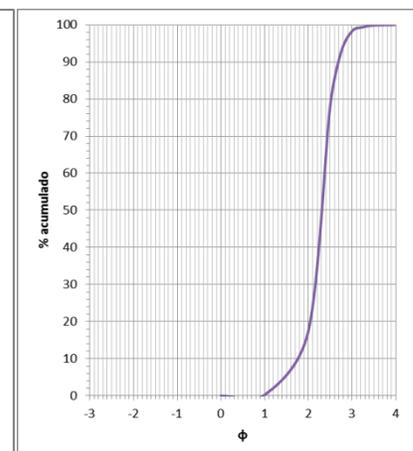
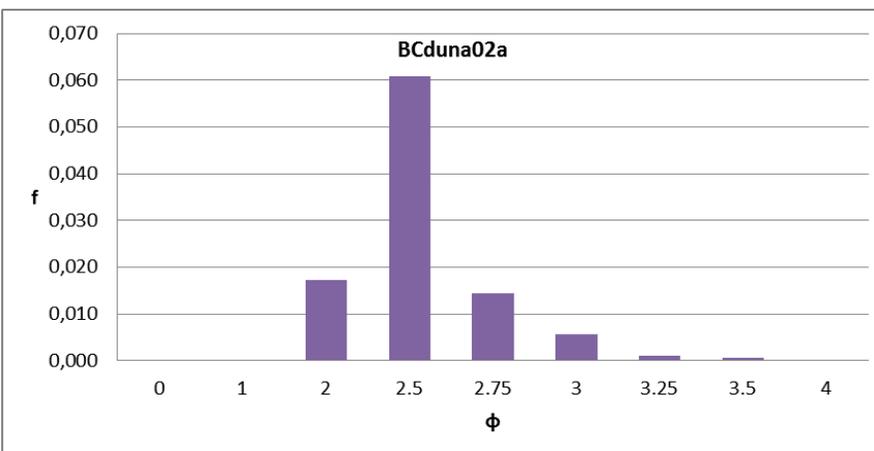
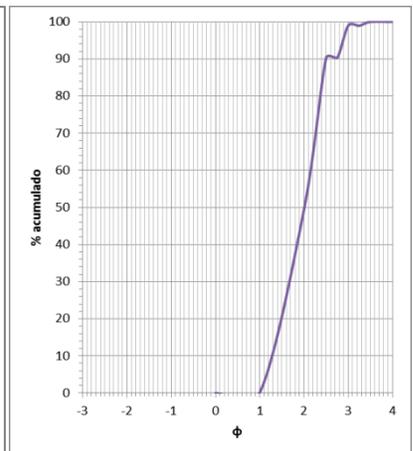
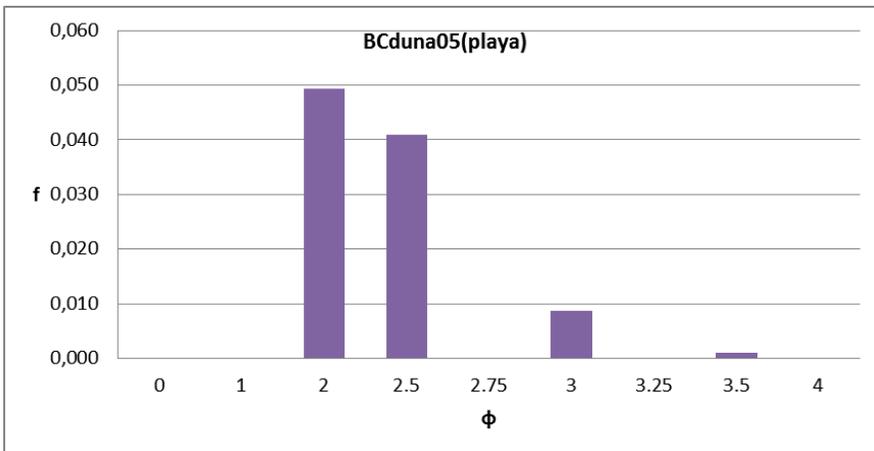
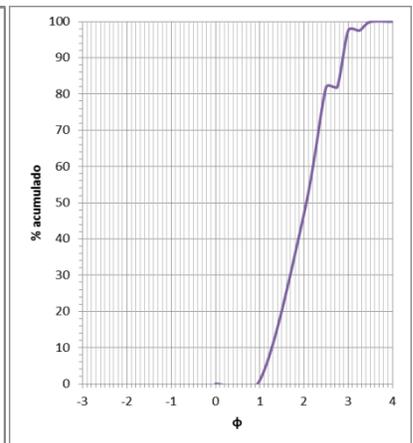
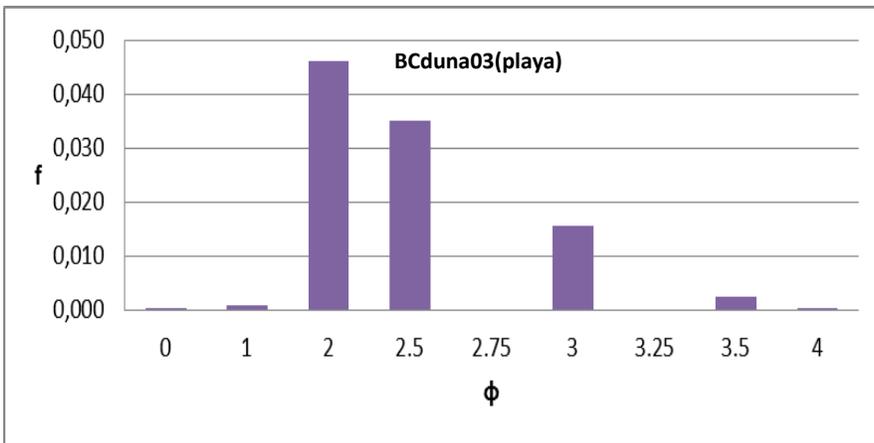
resto de las muestras (2 y 2,5  $\phi$ ), tiene una cantidad significativa de material correspondiente a la fracción 3,5  $\phi$ .

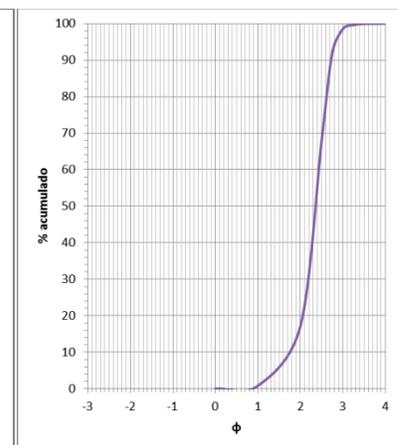
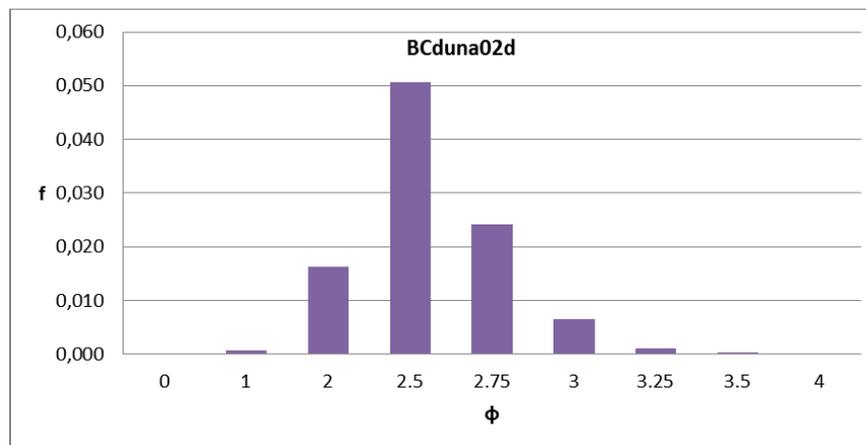
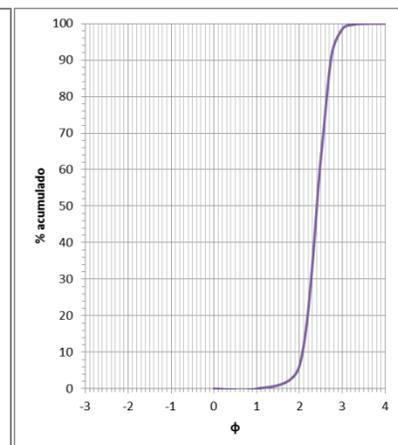
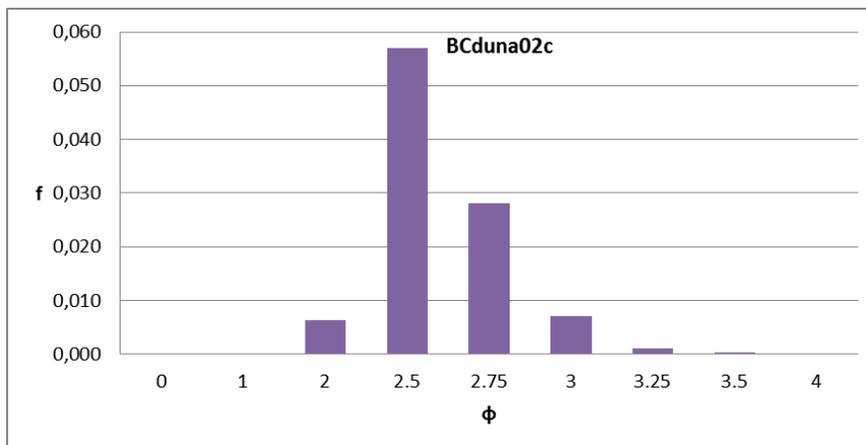
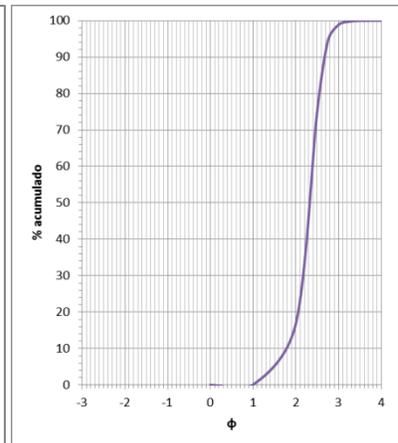
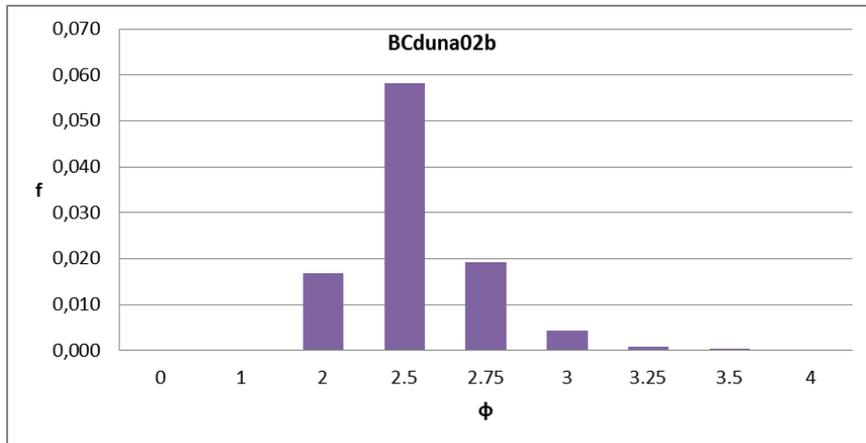
A continuación se presentan los histogramas y curvas de frecuencia acumulada de las muestras recolectadas y tamizadas. El eje X representa el tamaño de los granos (en  $\phi$ ) y el eje Y la frecuencia de los mismos.

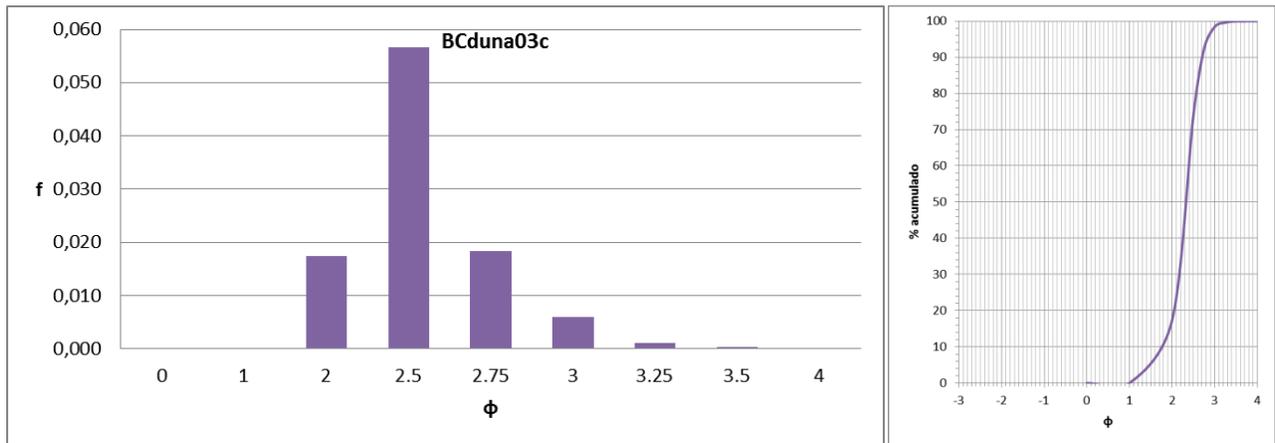
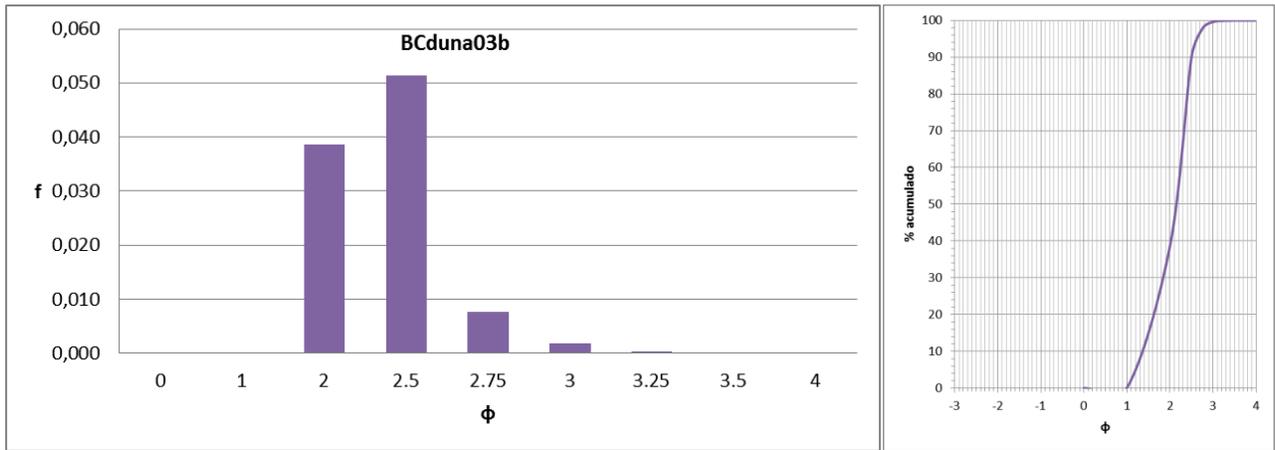
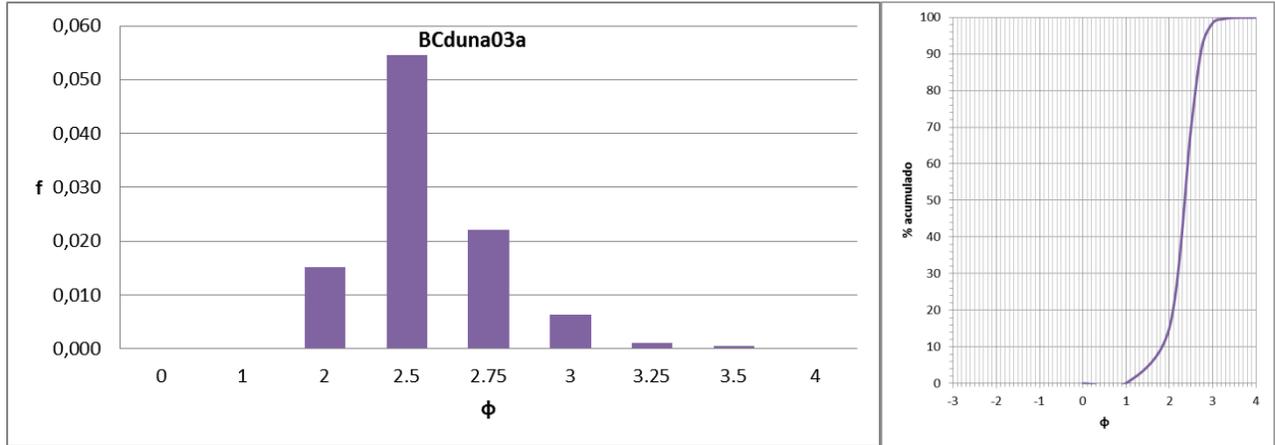


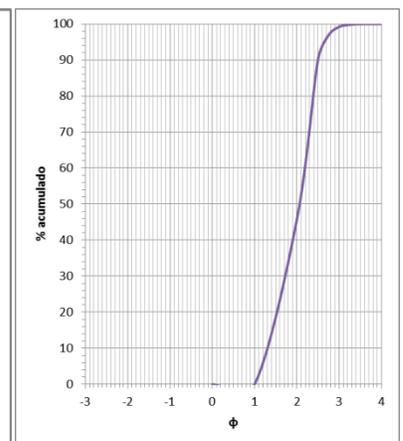
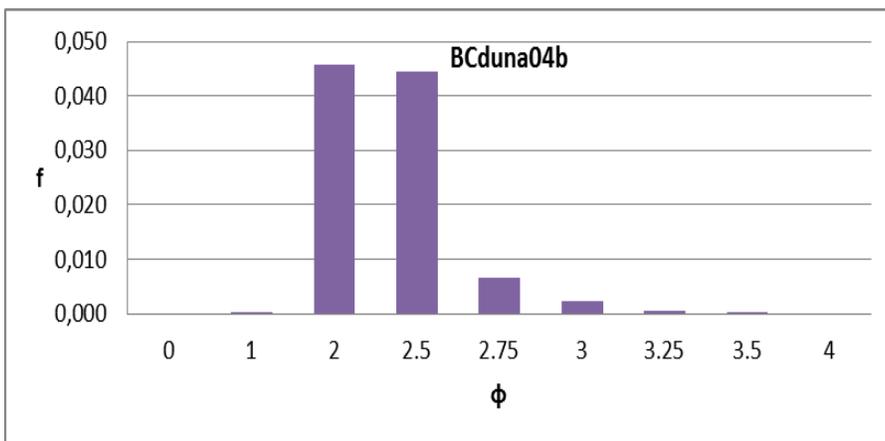
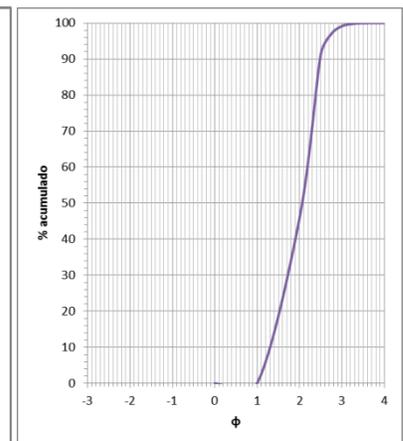
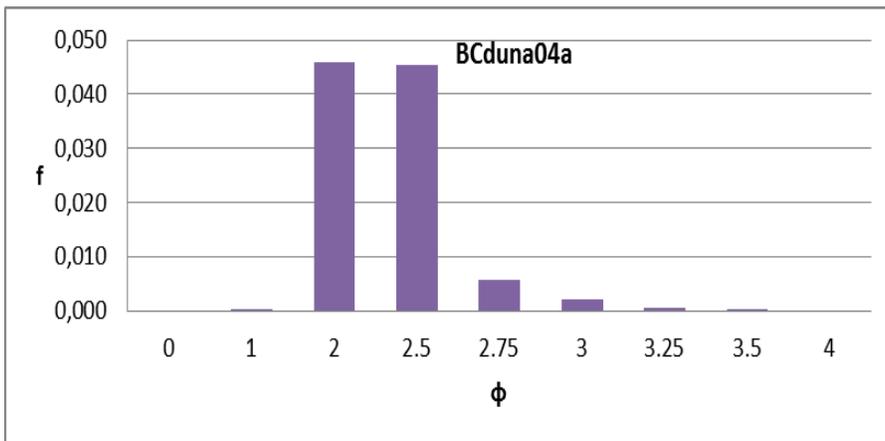
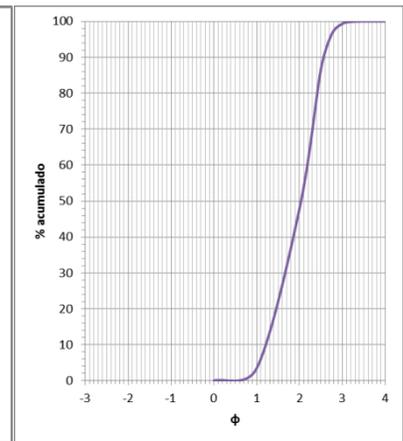
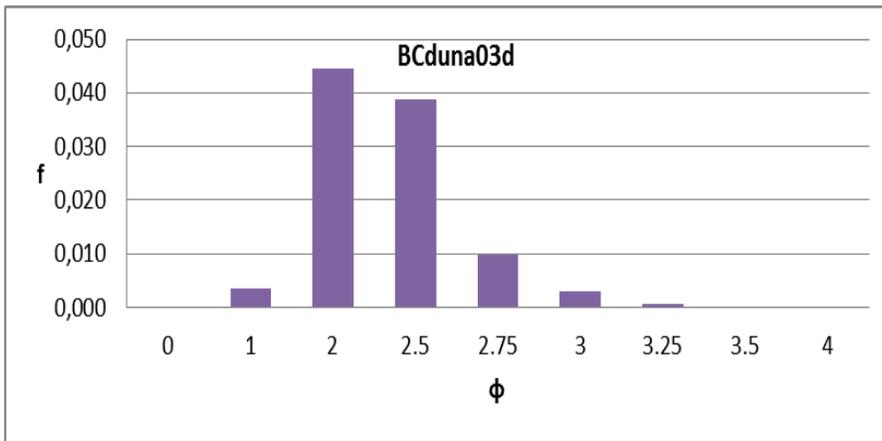


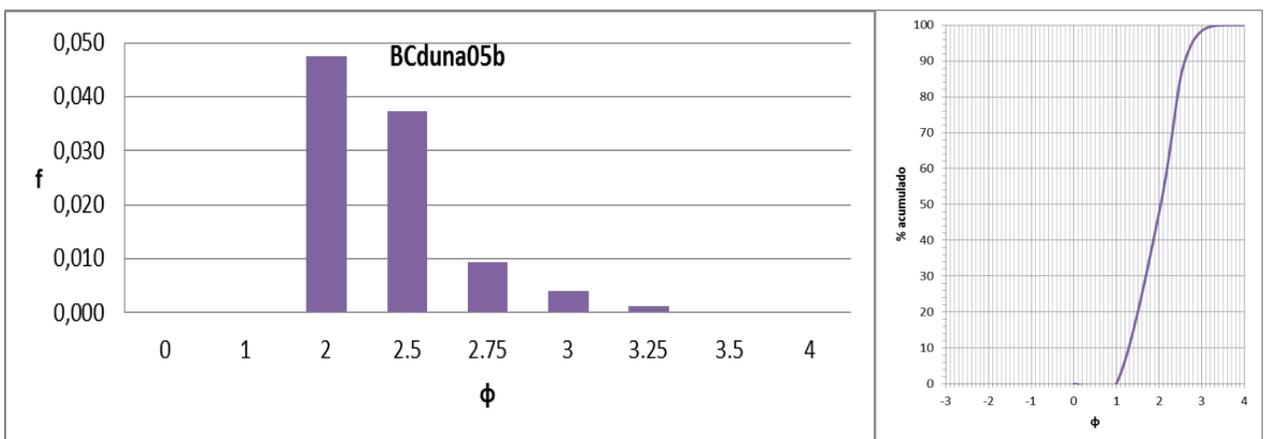
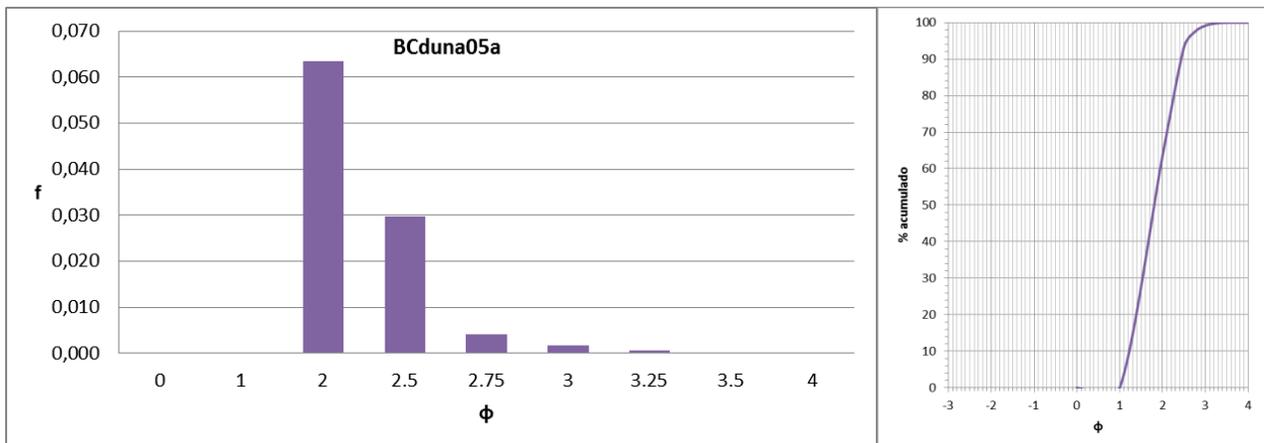
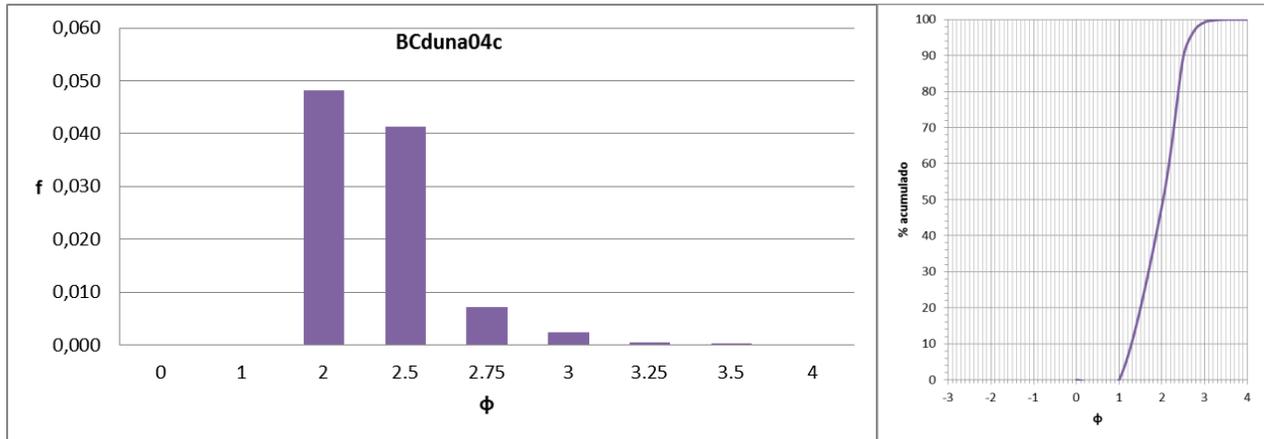


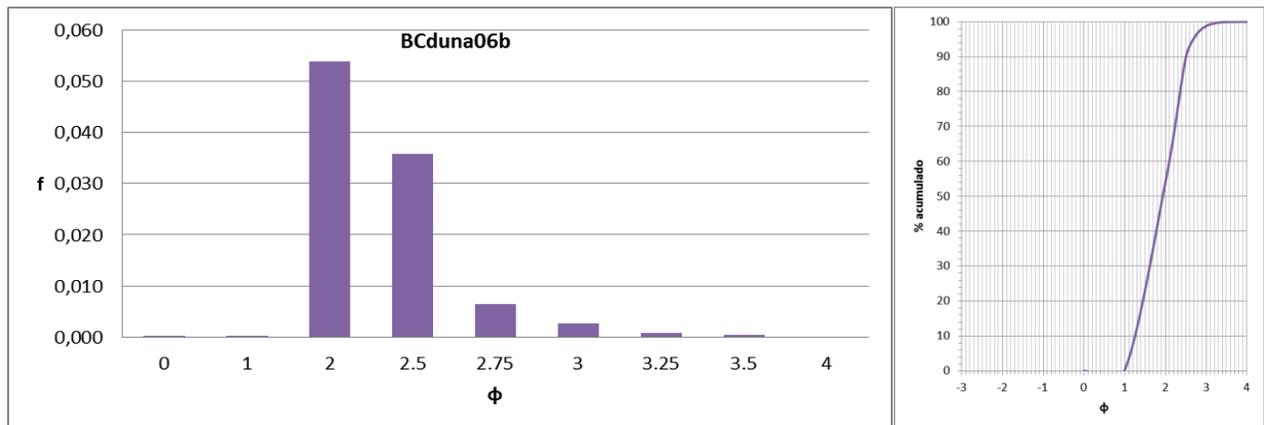
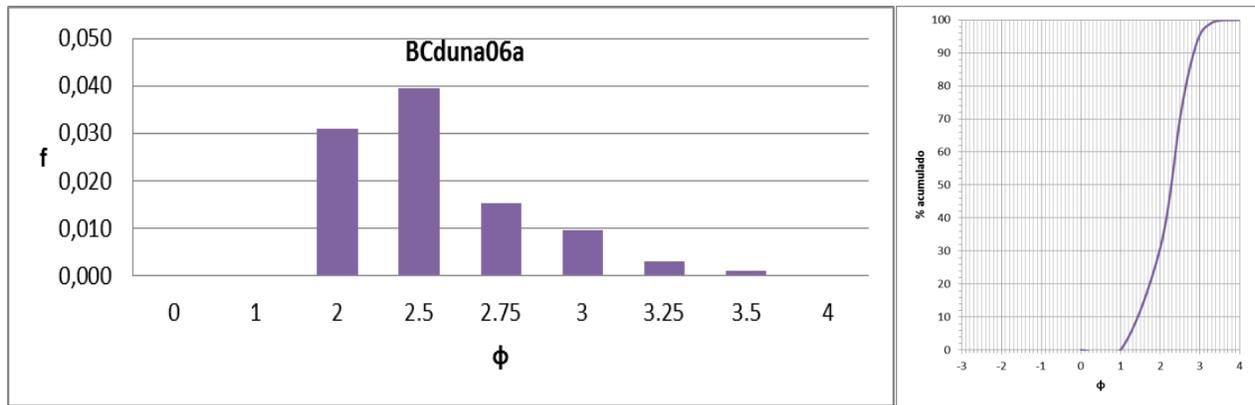
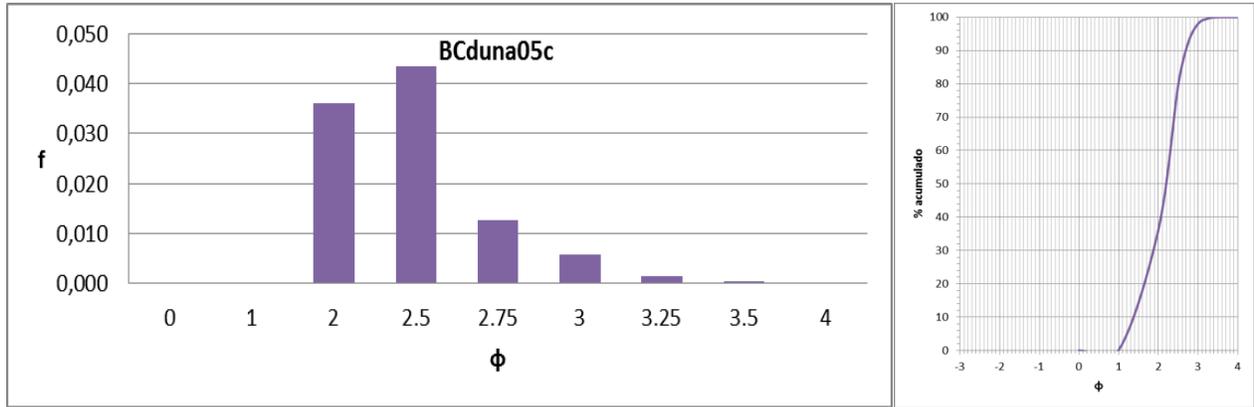


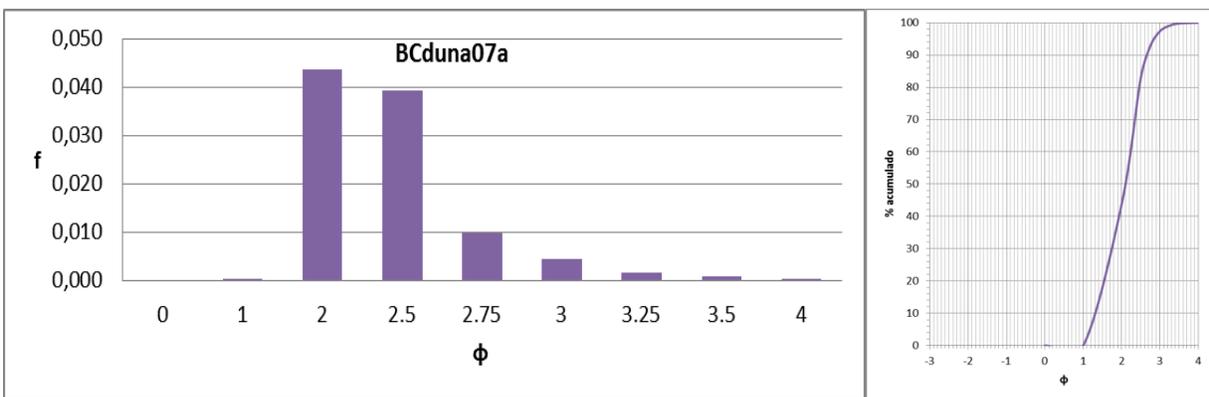
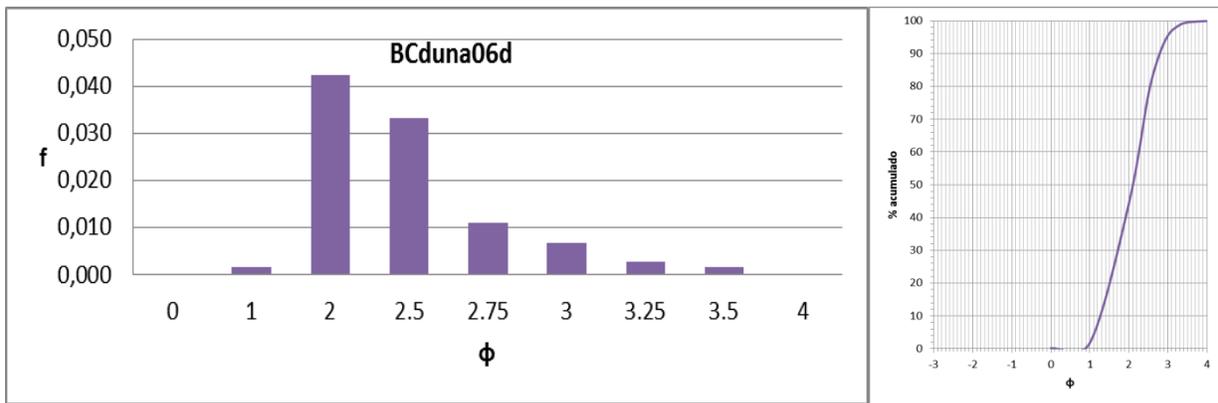
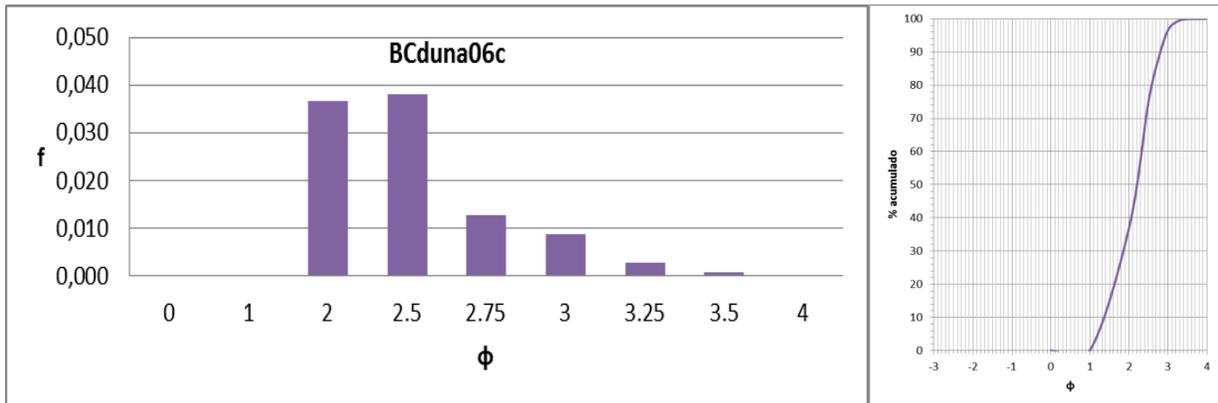


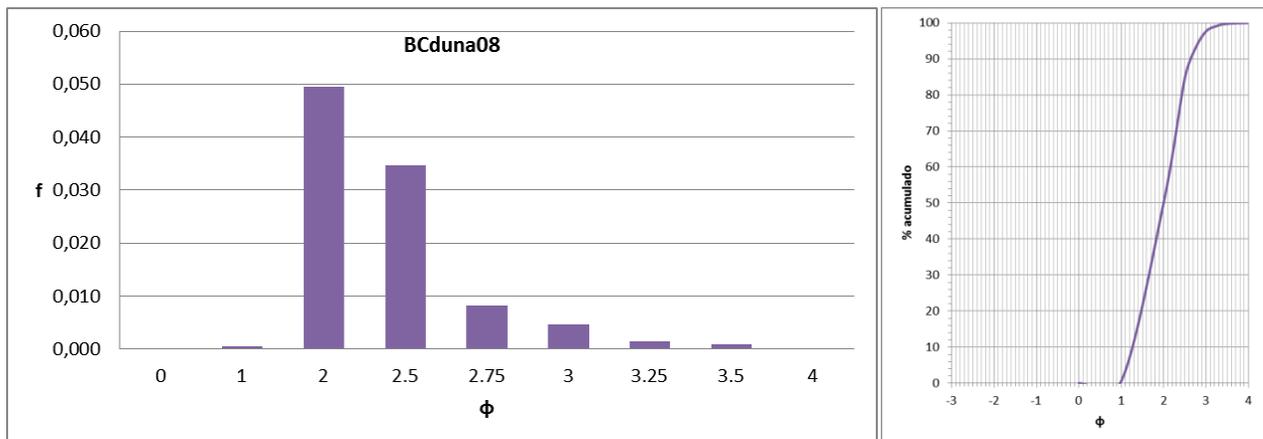
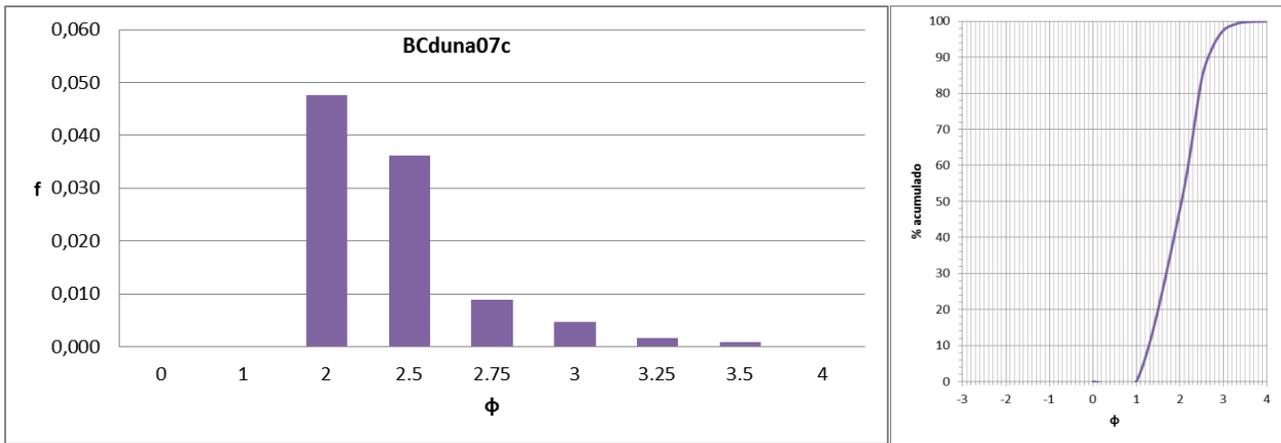
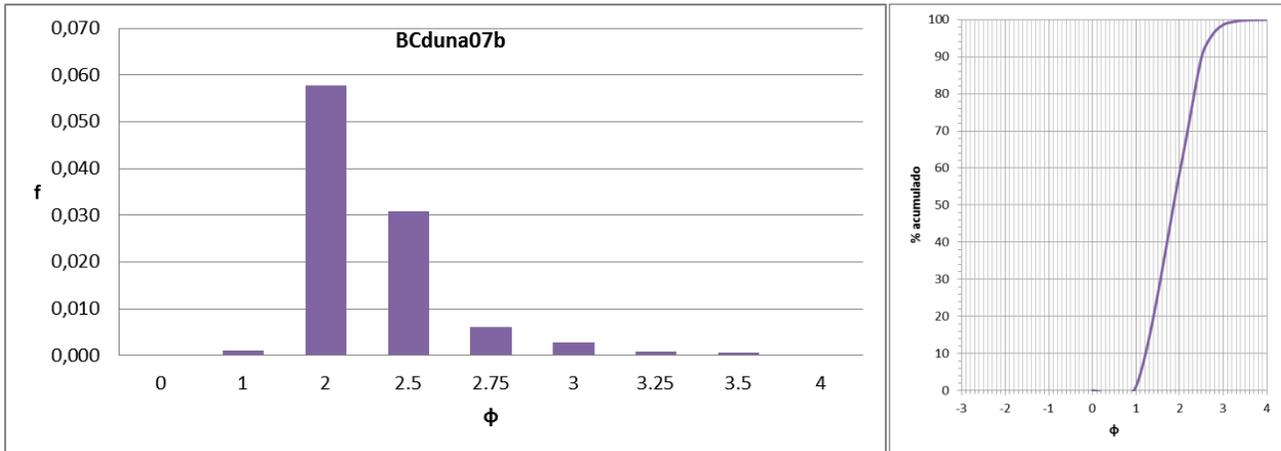


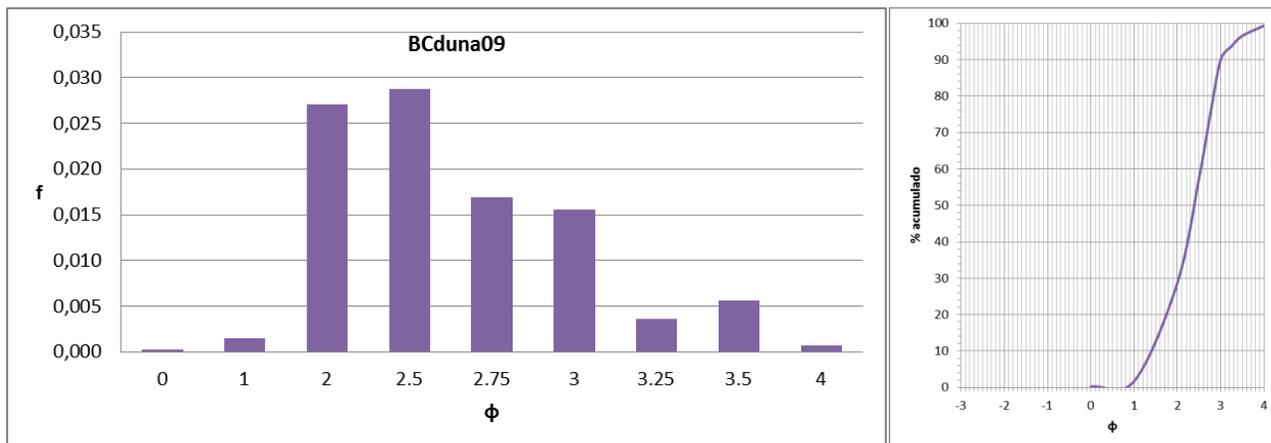












Los valores de tendencia central se asemejan bastante dentro de cada muestra, lo cual indica que estas poseen una distribución cercana a la normal. Dichos valores, en la escala *phi*, oscilan entre 1,5 y 2,45 para la media, entre 1,7 y 2,5 para la mediana y entre 2 y 2,5 para la moda, clasificándose como arenas medias a finas. En general los menores valores (grano más grueso) están presentes en las arenas de playa y el acantilado, y los valores más altos (grano más fino) se observan en el paleoacantilado, la caleta y la duna vegetada. Finalmente las dunas presentan valores intermedios, habiendo tanto arena fina como media.

También se obtuvieron los valores de agudeza, donde todas las muestras tiene valores correspondientes a curvas muy leptocúrticas o extremadamente leptocúrticas, sin discriminación entre muestras de distintos sectores.

La asimetría resultó ser muy asimétrica positiva (13 valores) o muy asimétrica negativa (11 valores) en la mayoría de los casos, las restantes muestras presentan valores asimétricos negativos (6) y simétricos (3). En este caso tampoco se observan cambios asociados a un ambiente en particular donde han sido tomadas las muestras.

Asimismo se realizaron los gráficos comparativos de cada parámetro estadístico para las muestras de playa (Fig. 5.2) y de las dunas (Fig. 5.3) por ser las que tienen una cantidad significativa de muestras. En ninguno de los dos casos hay grandes diferencias en la media y selección, las dunas presentan algunos cambios en la asimetría, fundamentalmente en las dunas 5 y 6 y ambos tienen gran variación en la agudeza.

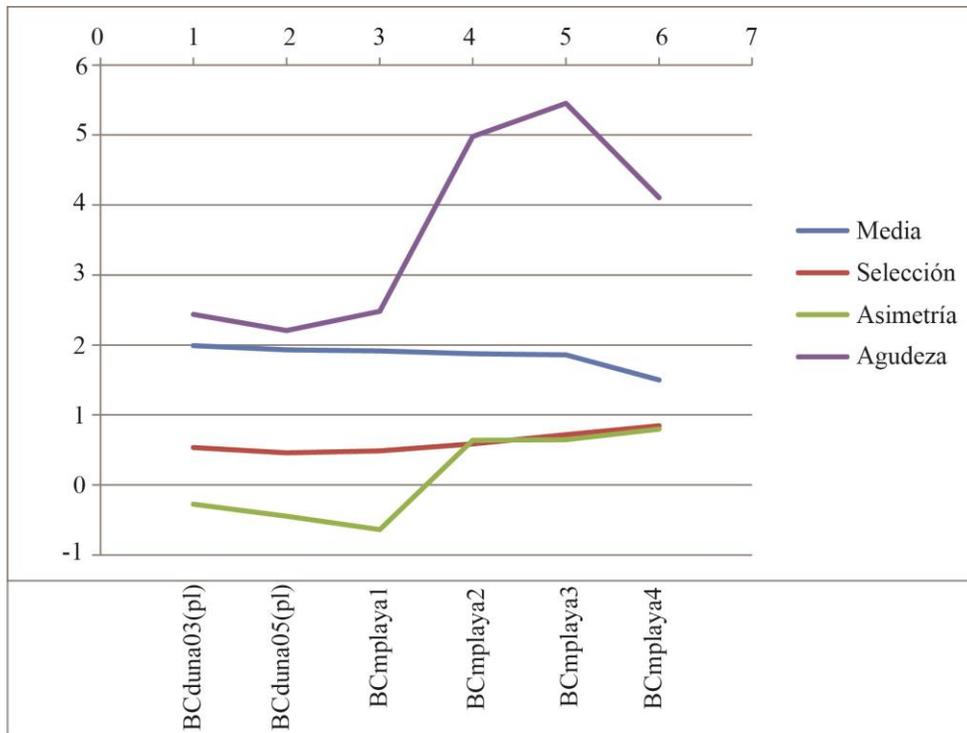


Figura 5.2. Gráfico comparativo de los parámetros estadísticos de las muestras de playa. Las muestras ubicadas de izquierda a derecha en el gráfico representan su ubicación de oeste a este en el campo.

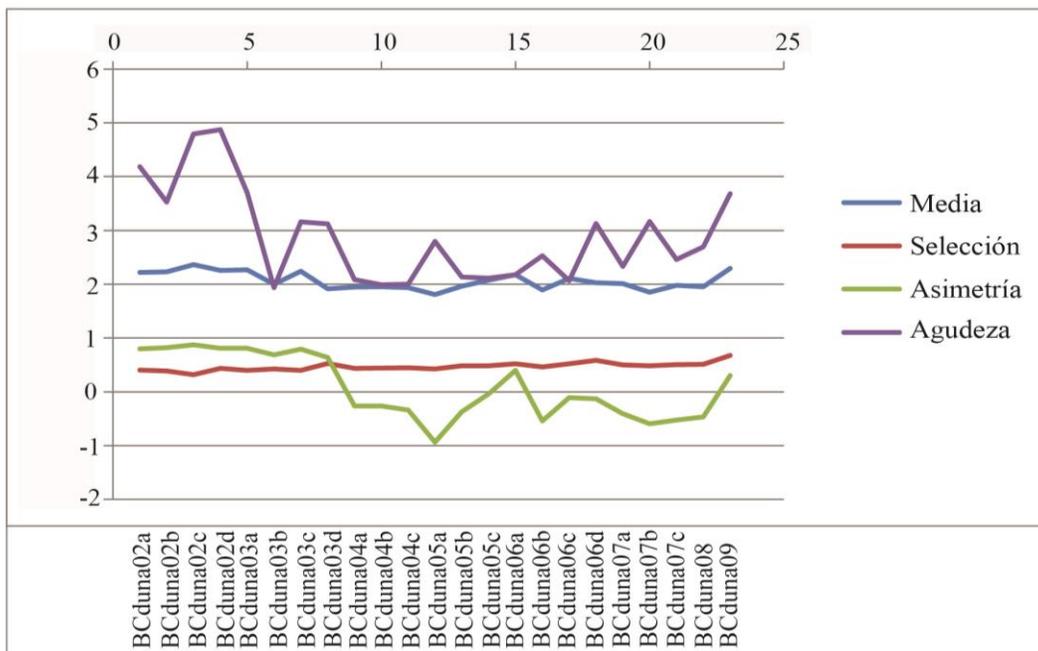


Figura 5.3. Gráfico comparativo de los parámetros estadísticos de las muestras de duna. Las muestras ubicadas de izquierda a derecha en el gráfico representan su ubicación de oeste a este en el campo.

Posteriormente se realizó la prueba estadística de Kruskal – Wallis entre las muestras de playa y dunas. Los resultados se muestran en la Tabla 5.3. En los casos en los que  $p$  (probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula) es menor a 0,05, hay diferencias significativas entre dos poblaciones dentro de ese parámetro.

Parámetro	Kruskal – Wallischi – squared	df	p – value
Media	7.7635	2	0.02061
Selección	6.4091	2	0.04058
Asimetría	1.1782	2	0.5548
Agudeza	5.0238	2	0.08112

Tabla 5.3. Resultados de la prueba de Kruskal – Wallis entre las muestras de playa y dunas. “df” representa los grados de libertad.

Finalmente, a partir de las características de las muestras, se realizaron gráficos comparativos de asimetría vs selección (Fig. 5.4, Passega y Byramjee 1969) y asimetría vs media (Fig. 5.5, Friedman 1961), donde se busca conocer si las muestras caen en su campo correspondiente, es decir, muestras de dunas dentro del campo eólico y muestras de playa dentro del campo arena de playa. Además se puede saber si el resto de las muestras (acantilado, paleoacantilado y caleta) se relacionan más a un campo u otro (Fig. 5.4). A través de estos gráficos se puede ver que varias de las muestras tomadas caen en su campo correspondiente, aunque una cantidad notable lo hace en otro campo, lo cual podría deberse a la proximidad de un campo con otro y a su interrelación dentro del área de estudio.

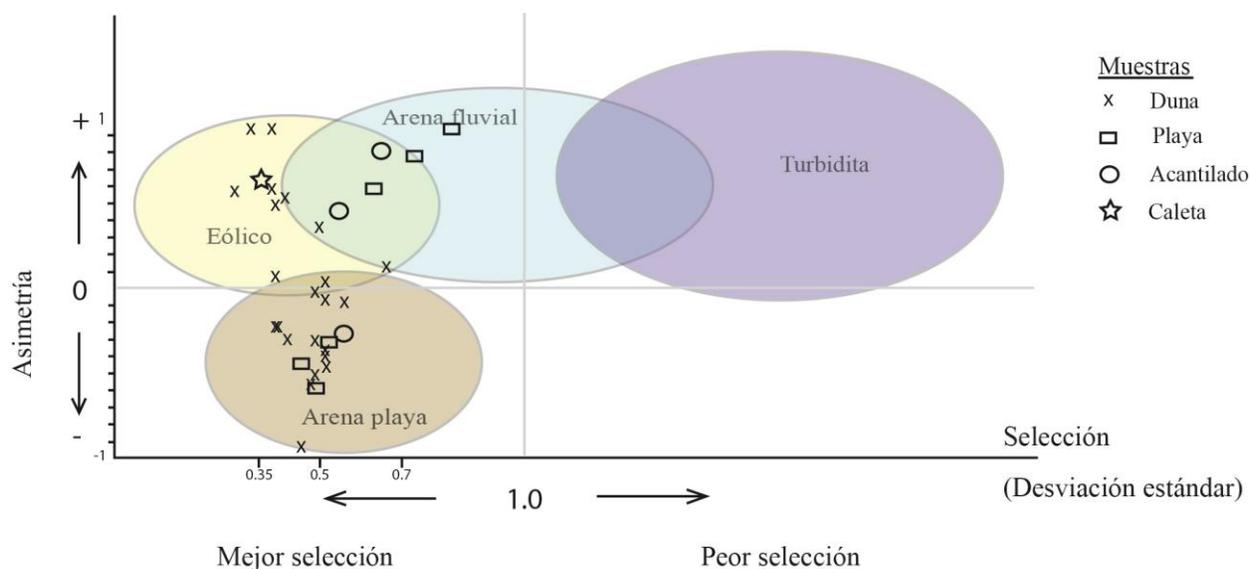


Figura 5.4. Gráfico asimetría vs selección. Tomado de Passega y Byramjee (1969).

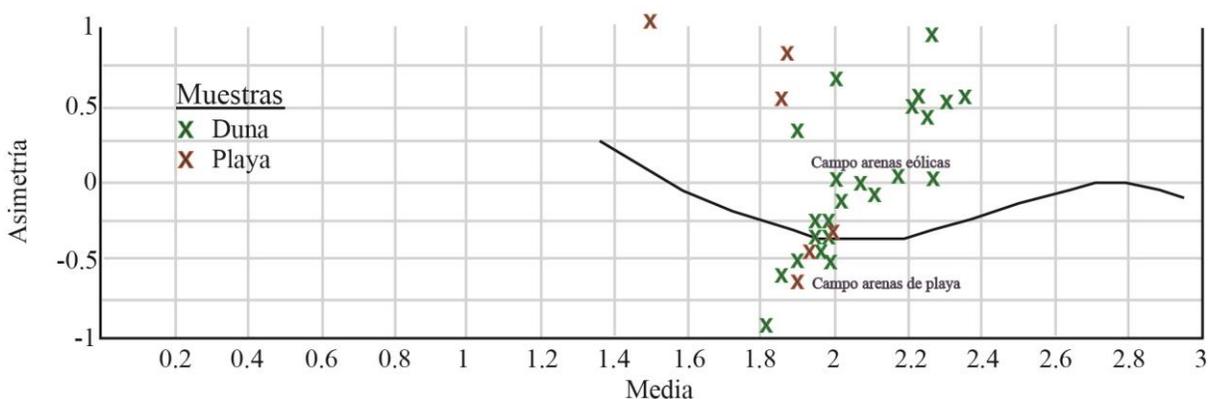


Figura 5.5. Gráfico asimetría vs media, usando la escala *phi*. Tomado de Friedman (1961).

### 5.3. Discusión de los resultados

En cuanto a la **selección** dentro de las dunas, tres de las siete bien seleccionadas (que para este ambiente resulta la peor selección encontrada) pertenecen a una duna en particular, esto puede deberse a características particulares del viento, que es el encargado de transportar los sedimentos; otra pertenece a la duna vegetada, sitio donde el viento deja de ejercer su función como seleccionador de las partículas y las restantes corresponden a distintas ubicaciones. Por otro lado en lo que respecta a las muestras de playa las peor seleccionadas son las que están bajo

el acantilado activo. A su vez, dentro de las dunas donde se tomaron muestras en la zona de interduna, estas fueron las peor seleccionadas.

Lo que se refiere a los **valores de tendencia central** observados, con predominio de grano más grueso hacia la playa y más fino hacia las dunas, resultan así porque las olas que depositan la arena en la playa tienen mayor competencia que el viento que transporta la arena a las dunas, esta diferencia explica la discrepancia de tamaño entre las distintas muestras (Friedman, 1961). Los distintos valores en las dunas pueden deberse al transporte que realiza el viento, depositándose primero los granos más gruesos y luego los más finos, sin embargo no hay grandes diferencias entre las muestras. Lo que sí se observa es que las muestras de grano más fino son las más cercanas a la caleta, probable lugar de procedencia para las dunas ya que cuando baja la marea queda expuesta una gran cantidad de material que, en condiciones adecuadas, puede ser transportado por el viento. No ocurre lo mismo con las muestras más alejadas de la caleta, donde influirían más los sedimentos de playa que son más gruesos. Asimismo, al igual que lo identificado por Tripaldi (2002), tiende a cumplirse que es mayor el tamaño de granos próximo a la cresta.

Las características referidas a la **agudeza** son producto de la selección de las muestras ya que curvas muy leptocúrticas o extremadamente leptocúrticas corresponden a areniscas bien seleccionadas y muy bien seleccionadas respectivamente (Wadhawan, 1996). Además en este trabajo en particular, algunos valores elevados podrían deberse a no haber contado con todos los tamices de la escala raíz cuarta de dos, lo que llevaría a una concentración excesiva de material en las fracciones 2 y 2,5 *phi*.

Dentro de la **asimetría**, el parámetro con mayor variación en el presente trabajo, encontramos que Wadhawan (1996) ha analizado muestras bien seleccionadas de dunas costeras que presentan una asimetría grosera, y esto lo puede atribuir a una rápida mezcla de arenas de subambientes eólicos, de playa y mareales, como podría suceder en Bahía Creek. Además, según McLaren (1981), en un sistema de subambientes relacionados, como es el de playa, la variación de la tendencia de las medidas de los parámetros estadísticos como la media, selección y asimetría, estarían reflejando los cambios que pueden ocurrir entre la fuente de aporte de un sedimento y su

depósito. Valores negativos de asimetría, como los encontrados en este estudio, también fueron reportados por Flor *et al.* (1983) en playas y dunas activas y subcrecientes. Ello es consecuencia de la alternancia de los vientos que movilizan la arena desde el continente hacia la costa y de los vientos provenientes del mar, que la trasladan desde la costa hacia el médano.

De todas formas, para arenas eólicas con una media entre 1.9 y 2.3  $\phi$ , los valores normales de asimetría pueden ser hasta -0.3 (Friedman, 1961), quedando así casi todos los valores de las muestras obtenidas en el presente trabajo comprendidos dentro de este límite. Además, según este mismo autor, el transporte del viento resulta de un flujo unidireccional, responsable de los valores positivos de asimetría para las arenas eólicas, sin embargo, como en el área de estudio los vientos provienen de distintas direcciones, podría verse afectada la unidireccionalidad del flujo y en consecuencia los valores de asimetría. Por otro lado, Sanjaume en Lara y González (2006) reportó en las dunas fósiles de las costas valencianas de la península ibérica asimetría negativa, interpretándolo como una retención de tamaños de grano medios en detrimento de los más finos que continuaron siendo transportados, lo cual también resulta posible en la zona de estudio ya que las muestras están en cercanía a la playa.

Luego, a partir de la prueba de Kruskal – Wallis realizada, se deduce que hay diferencias significativas para la media y selección entre las muestras de playa y dunas, lo cual resulta lógico ya que las primeras presentan granos más gruesos y peor seleccionados por el ambiente en el que se encuentran. Los parámetros que no presentan diferencias significativas son agudeza y asimetría, lo cual podría ser indicativo de que hay una interacción entre los sistemas, viéndose reflejado en los distintos valores, fundamentalmente de simetría, explicados en líneas anteriores.

Seguidamente para el gráfico realizado de asimetría vs media (Fig. 5.5), solo 5 de 23 muestras caen fuera del límite normal propuesto por Friedman (1961) para arenas eólicas. Estos valores “anómalos” podrían deberse a la cercanía de ambos ambientes en el área de estudio o a lo ya mencionado anteriormente en cuanto a la simetría. Valores similares han sido reportados para dunas costeras (Fernández *et al.*, 2003, Bértola y Cortizo, 2005) y dunas eólicas (Wadhawan, 1996). Además la mitad de arenas de playa (3) cae dentro de su campo, dos lo hacen en el campo eólico y la restante en el campo de arenas fluviales dentro del gráfico asimetría vs selección (Fig. 5.4) y en el gráfico asimetría vs media (Fig. 5.5) una mitad entra en el campo correspondiente y la otra lo hace en el de arenas eólicas. En los casos que entran dentro de campos eólicos, como

ya se explicó, podría deberse a la mezcla de dos subambientes. En cambio para la única muestra que entra en arenas fluviales, no hay una clara razón que lo pueda explicar más allá de alguna característica particular del muestreo en ese punto.

Finalmente, en cuanto a las características y ubicaciones de las muestras entre sí, se han analizado algunos puntos en particular para ver similitudes o diferencias entre las mismas. En el caso de las tres muestras BCduna05, BCduna05 y BCduna05, presentan una similitud ligeramente mayor con la muestra BCduna05 (playa) que con las cuatro muestras BCduna06, encontrándose las muestras 05 en la playa y por debajo del paleoacantilado mientras que las 06 están sobre este último (Fig. 5.1). Por otro lado las muestras del acantilado son muy similares entre sí y no hay mayor similitud asociada a alguna muestra de playa en particular. Sí se observa una mayor similitud entre la muestra de la caleta y las cuatro muestras BCduna02 que son las más cercanas, esto muy probablemente se deba al transporte producido entre un punto y otro; las muestras que siguen en similitud a la caleta son las cuatro BCduna03, las más próximas luego de las tres BCduna02, lo que reafirma la hipótesis referida al transporte. Por último se observó que la muestra de la caleta es más parecida a las muestras de playa más cercana a la misma (BCduna03playa, BCduna05playa y BCmplaya1) que a las más alejadas, y en cuanto a la media y selección (no así en asimetría y agudeza) se asemeja más a las tres muestras BCduna07 (encima del acantilado) que a las ubicadas en la playa en esta misma longitud (BCmplaya3 y BCmplaya4). Esto último podría relacionarse a que el aporte de arena proveniente de la caleta migra con una dirección aproximada O – E y llega en mayor o igual medida hasta las dunas cercanas a la población (tres muestras BCduna07) que la arena proveniente de la playa bajo el acantilado hasta este mismo sitio.

Comparadas con las muestras de Vergara Dal Pont (2015) correspondientes al ambiente costero de El Cóndor, los valores de media, mediana y agudeza en las dunas son muy similares, no así la selección que es mejor en Bahía Creek ni tampoco la asimetría con valores en general más cercanos al cero y menor dispersión para las muestras de El Cóndor. Además las arenas de playa de Bahía Creek presentan medias y medianas entre 1,5 y 2 *phi* con menor variación que las de El Cóndor que van desde 1,3 a 2,5 *phi*. A su vez las muestras de Bahía Creek están mejor seleccionadas, poseen valores más dispersos de asimetría (-0,64 – 0,8) pero sin llegar a ser tan negativos como en El Cóndor (-1,85 – 0,13) y tienen una agudeza similar.

## 6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE PROCEDENCIA DE MODAS DETRÍTICAS

Este capítulo tiene como finalidad conocer a grandes rasgos la procedencia de los sedimentos del área de estudio, los cuales fueron cotejados con estudios de carácter regional. A su vez se buscan similitudes y diferencias entre las muestras para conocer su evolución con respecto a las otras e inferir su migración dentro de los distintos subambientes.

### 6.1. Metodología

Para este estudio se confeccionaron tres secciones delgadas a través del preparado de grano suelto inmerso en una resina para darle sustentabilidad. Las muestras utilizadas fueron BCacant1, BCmplaya1 y BCduna07a, correspondientes a estos tres ambientes (acantilado, playa y duna respectivamente). Se consideró toda la fracción granulométrica para tener una muestra representativa. Una vez realizados los cortes, fueron analizados mediante microscopio petrográfico, teniendo en cuenta el trabajo realizado por Dickinson (1970) para la clasificación de los distintos granos. Además, para lograr una clasificación adecuada de las muestras, así como su procedencia, se hizo un conteo de 400 puntos por muestra, utilizando el método Gazzi – Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984), para luego volcar estos datos en los gráficos propuestos por Folk *et al.* (1970) y Dickinson *et al.* (1983). En el primer caso para realizar su clasificación teniendo en cuenta que se trata de una arena, teniendo en cuenta lo observado en la tamización (capítulo 5), y en el segundo para conocer su procedencia. Los puntos marcados como porosidad corresponden a la resina. A su vez se analizó la redondez de las muestras mediante la escala de comparación visual propuesta por Powers (1953).

### 6.2. Resultados

A partir del conteo realizado, del cual se encuentra su síntesis en la tabla 6.1, se vio que la mayor cantidad de minerales representados en las muestras son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas (Figs. 6.1 – 6.4), junto con micas, opacos y otros accesorios (principalmente anfíbol y piroxeno) y abundantes fragmentos líticos (Figs. 6.1 – 6.4). Además se obtuvo como resultado que las muestras BCacant1 y BDduna07 corresponden a litoarenitas feldespáticas (Fig. 6.5),

provenientes de un ambiente de arco disectado (Fig. 6.6). Mientras que la muestra BCmplaya1 corresponde a una feldarenita lítica (Fig. 6.5) proveniente de un ambiente de arco transicional (Fig. 6.6).

Por otro lado, en base a su redondez, los clastos de las tres muestras fueron clasificados como subredondeados.

Valor	Cantidad		
	BCmacant1	BCmplaya1	BCduna07
Qr - Cuarzo con extinción recta	101	67	79
Qo - Cuarzo con extinción ondulosa	7	0	7
Fp - Plagioclasa	36	77	56
Fk - Feldespato K	40	61	35
Ls - Líticos sedimentarios	13	15	28
Lpl - Líticos Paleovolcanicos Lathwork	20	10	6
Lps - Líticos paleovolcanicos seriados	17	11	24
Lpg - Líticos paleovolcanicos microgranular	21	18	13
Lva - Lítico volcanico alterado	8	13	18
Lsov - Líticos sedimentarios o volcanicos	7	17	16
Lm - Líticos Metamorficos	0	0	1
Lo - Otros Líticos	6	5	4
M - Micas	0	1	4
Op - Opacos	7	5	14
Px - Piroxeno	1	0	2
Ac - Accesorios	0	10	6
Cf - Cemento Ferruginoso	1	0	0
0 - Porosidad	115	90	87
Total	400	400	400

Tabla 6.1. Mineralogía de cada una de las muestras estudiadas mediante sección delgada.

### 6.3. Discusión

El estudio de procedencia está referido a los granos que componen las muestras, las cuales corresponden a depósitos de dunas pliocenas (BCmacant1) y playa (BCmplaya1) y dunas (BCduna07) actuales. Teniendo en cuenta esto, es posible decir que el origen de la feldarenita lítica (BCmplaya1) resultaría inicialmente de la erosión de plutonitas mesosilícicas y básicas o de volcanitas, en donde se ha producido eliminación diferencial de fragmentos líticos durante el transporte (Scasso y Limarino, 1997). Además, según estos mismos autores, la gran cantidad de

feldespato es indicativa de climas áridos debido al bajo potencial de meteorización química. Por otro lado, en base a su mineralogía, las litoarenitas feldespáticas (BDduna 07 y BCmacant1), corresponden a arenas líticas volcánicas, con una apreciable cantidad de feldespato y cuarzo, siendo sanidina el feldespato potásico principal. Además las tres muestras corresponden a ambientes de arco, arco transicional para BCmplaya1 y arco disectado para BCmacant1 y BCduna07 (fig. 6.6). Estos ambientes están relacionados a márgenes de subducción activos. Estas características se corresponden con lo mencionado anteriormente por Gelós *et al.* (1988) dentro de las arenas de playa del Golfo San Matías, tanto por el tipo de arena, la cantidad de fragmentos líticos y su derivación volcanoclástica (sugiriendo el ambiente de arco de la Cordillera Norpatagónica como lugar de procedencia).

También como es esperable hay mayor cantidad de cuarzo en la muestra correspondiente a la duna que en la de playa, la cual posee la mayor cantidad de feldespatos (Fig. 6.4). Esto resulta lógico de los distintos ambientes, ya que el cuarzo es más resistente a la meteorización y erosión a través del transporte. Aún la mayor cantidad de cuarzo presente en el acantilado podría deberse a que se corresponde con sedimentos pertenecientes a depósitos eólicos, a su vez las dunas actuales también reciben material de la caleta, distinto a los acantilados. Por otro lado llamó la atención que haya más opacos en la muestra de la duna que en la de la playa, ya que estos son pesados y sería esperable que queden retenidos en mayor cantidad; esto se podría deber a que el muestreo fue realizado en una litofacies de duna con mayor contenido de estos minerales o porque el número de muestras utilizado fue bajo. Finalmente, los líticos presentan una cantidad similar en las muestras, salvo una mayor cantidad de líticos sedimentarios en la duna, lo que podría darse al haber mayor aporte de sedimentos por parte de la caleta que de la playa y es este primer área de aporte la que provee los fragmentos sedimentarios.

Por lo tanto se puede decir que las muestras son similares, lo cual está de acuerdo con que pertenecen al mismo sistema, permitiendo inferir el transporte de los sedimentos desde el acantilado, por erosión, hacia la playa y de allí son movilizados por el viento hasta el campo de dunas. Hasta este último sector, como se infirió en el capítulo anterior, también llegan sedimentos provenientes de la caleta transportados por el viento.

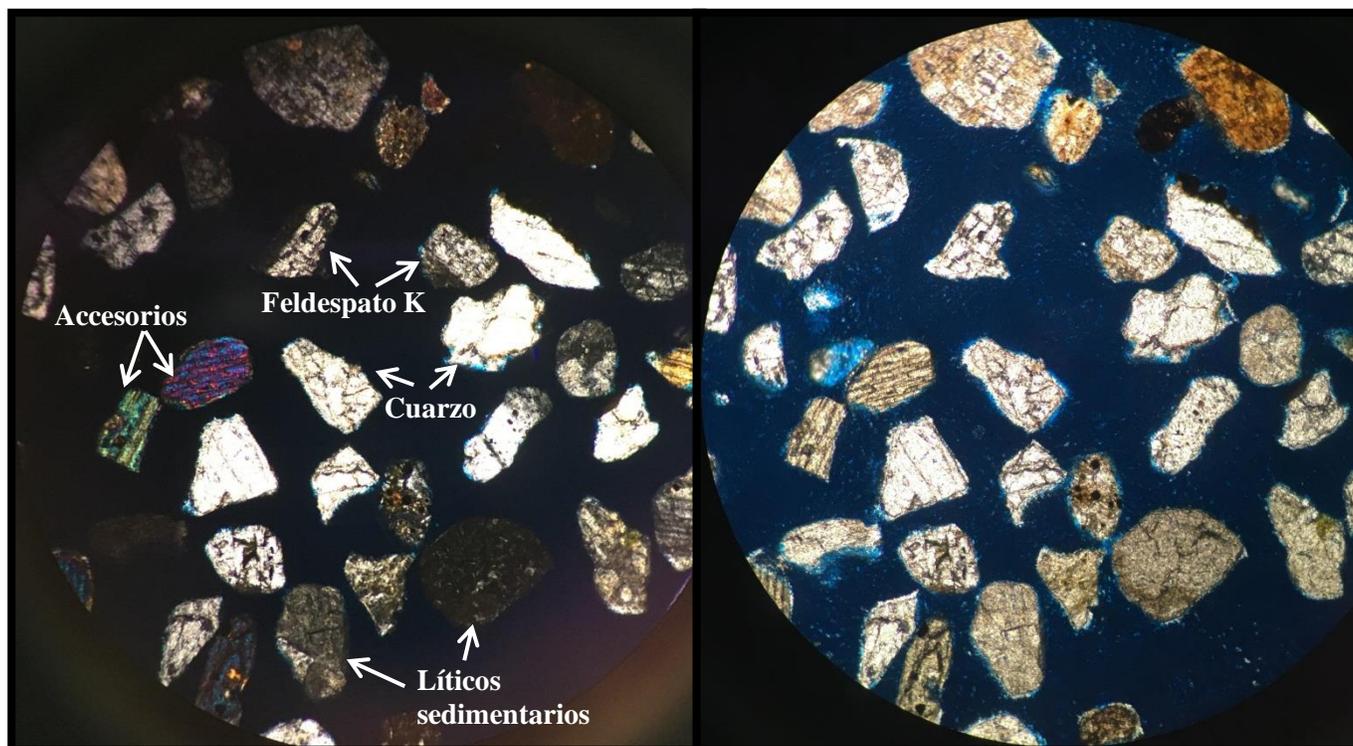


Figura 6.1. Sección delgada perteneciente a la muestra BCmplaya1. Luz polarizada y analizada (LPA, izquierda) y luz polarizada sin analizador (LPNA, derecha). Aumento x10.

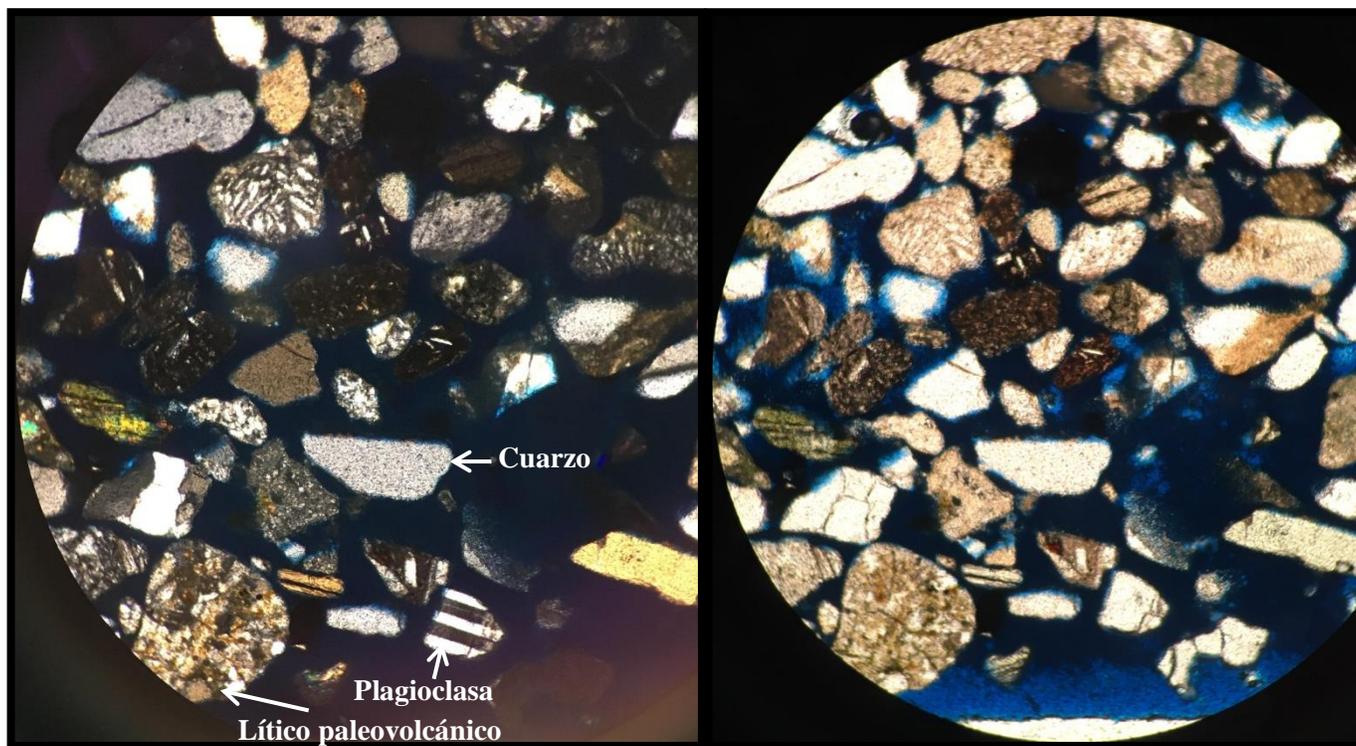


Figura 6.2. Sección delgada perteneciente a la muestra BCmacant1. LPA izquierda y LPNA derecha. Aumento x10.

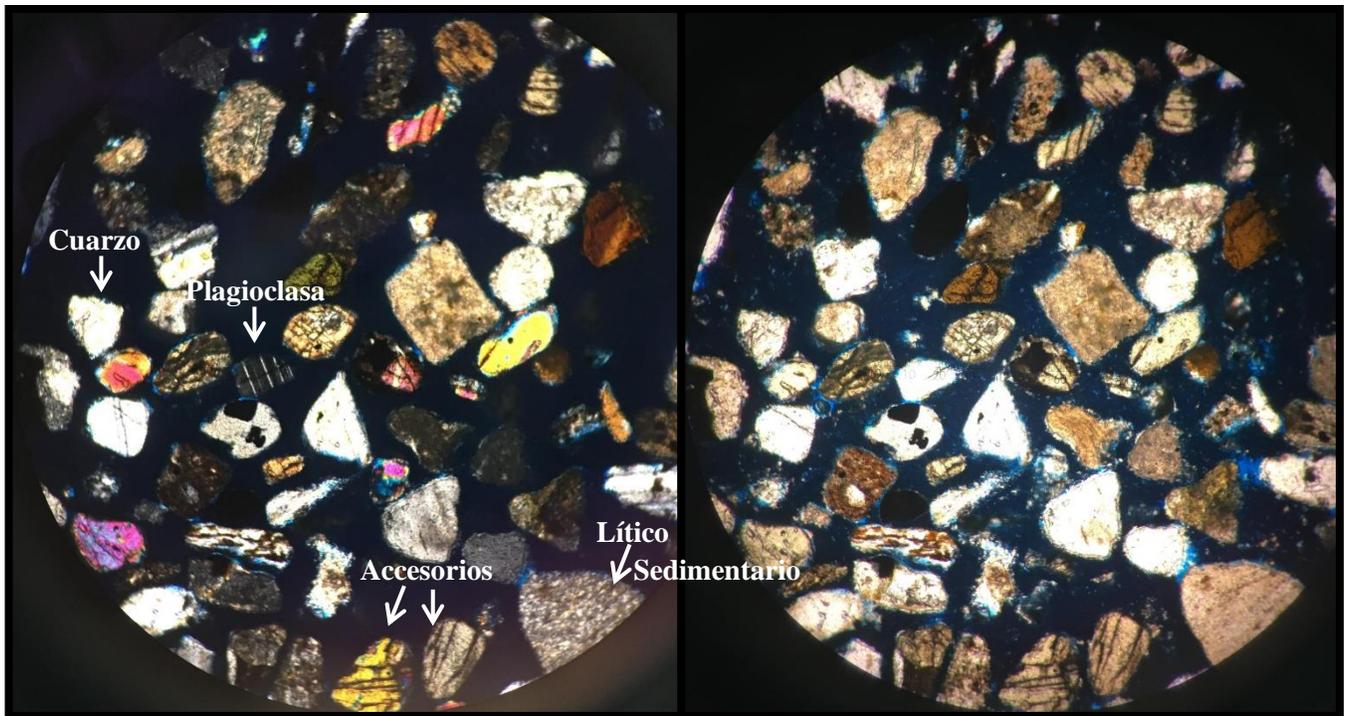


Figura 6.3. Sección delgada perteneciente a la muestra BCduna07. LPA izquierda y LPNA derecha. Aumento x10.

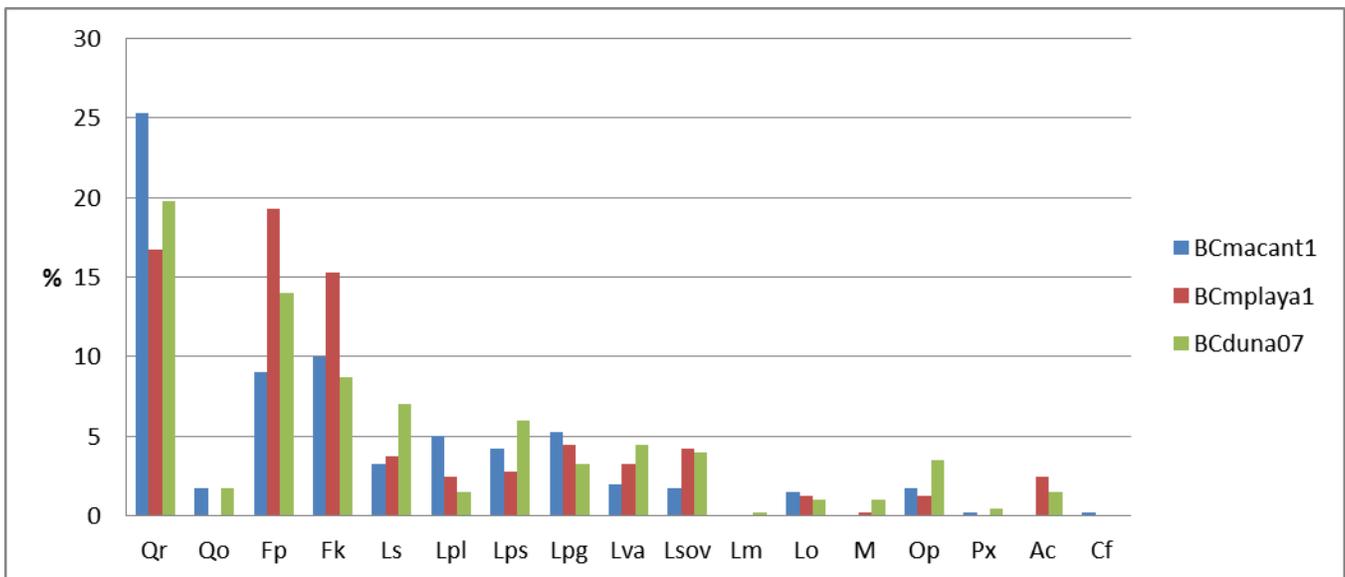


Figura 6.4. Recalculo al 100% de los componentes de cada muestra. Los nombres completos de cada uno están expresados en la Tabla 6.1.

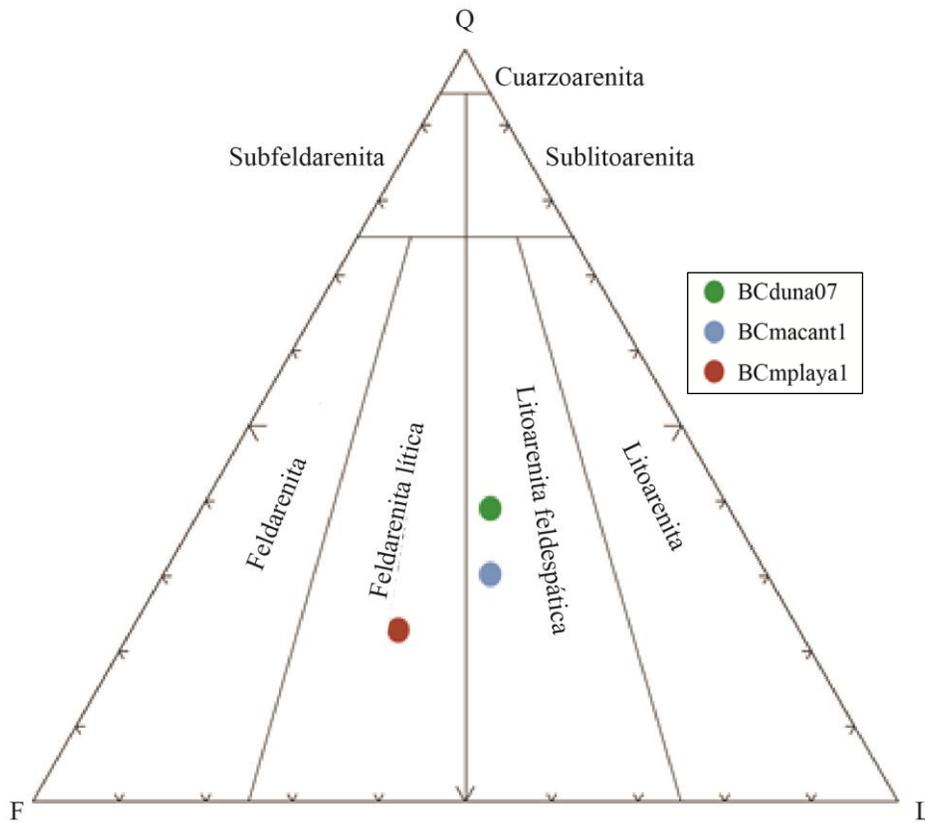


Figura 6.5. Diagrama de Folk *et al.* (1970) modificado, utilizado para la clasificación de las muestras.

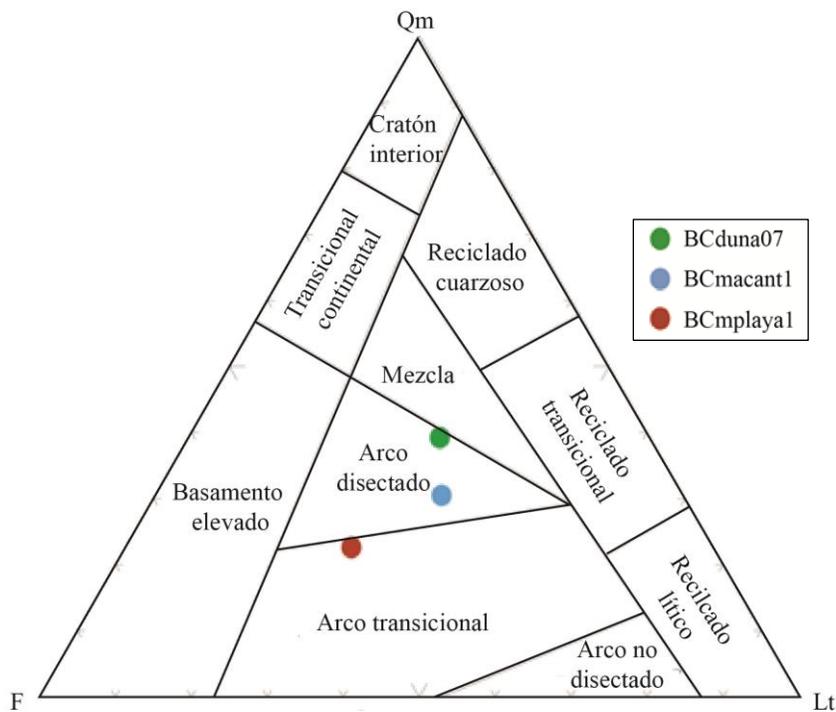


Figura 6.6. Diagrama de Dickinson *et al.* (1983) modificado, utilizado para análisis de procedencia.

## 7. ANÁLISIS DE PELIGRO

La definición de riesgo natural siempre lleva implícita la confluencia entre un proceso natural potencialmente dañino y una actividad humana susceptible de sufrir daños o pérdidas por la actuación de dicho proceso (Gracia, 2002).

La actividad turística y recreativa en la zona de estudio, está basada en los recursos naturales y paisajísticos del lugar antes que en equipamientos y servicios turísticos, lo cual revela un significativo incremento de uso en particular en la zona Atlántica.

Es así que resulta imprescindible entender la dinámica del sistema, tanto respecto a los acantilados como a las dunas, y de esta forma lograr conocer la vulnerabilidad o peligros potenciales que puede sufrir la población.

### 7.1. Retroceso del acantilado

El principal agente erosivo en los acantilados de Río Negro, en base a lo observado en el campo y lo observado en imágenes satelitales y fotografías aéreas, junto con lo consultado en Komar, (1976), del Río *et al.* (2004), Schillizzi *et al.* (2004) y Zavala y Freije (2005), lo constituyen las olas que golpean sobre rocas con diaclasas, fracturas o discontinuidades litológicas, provocando un efecto de compresión y descompresión del aire entrampado en ellas. Dicho fenómeno está potenciado naturalmente por el ensanchamiento de las estructuras producto del escurrimiento de aguas meteóricas, procesos de disolución, la acción de fragmentos rocosos arrojados contra el acantilado y la meteorización realizada por los loros barranqueros. A su vez la utilización de la cima de los acantilados como zona de tránsito vehicular y estacionamiento y la obliteración de la vegetación natural en esta zona lleva al desarrollo de líneas de escurrimiento preferencial que profundizan y ensanchan las diaclasas y debilidades de las rocas.

En lo que respecta a la caída de material, desde la cima de los acantilados preferentemente, se advierte la caída de bloques y detritos, relacionados principalmente a la erosión diferencial por variaciones en la composición y competencia de la roca. A causa de estos desprendimientos queda un perfil exagerado de niveles salientes más duros, en general vinculado a niveles yesíferos, y otros más débiles y entrantes, los cuales en algún momento alcanzan una proporción insustentable por la pérdida de base y caen gravitacionalmente, afectando también bloques

inferiores si los hubiese. La parte inferior del acantilado es afectada por la acción del oleaje y se pueden producir cárcavas que también van a hacer más inestable al resto del acantilado en ese lugar. También se producen deslizamientos rotacionales que pueden afectar todo el acantilado en la vertical o solo la parte superior del mismo, generando unos escalones o terrazas al mar. En este último caso la parte inferior está compuesta por areniscas de la Formación Río Negro y la parte superior deslizada está compuesta principalmente por niveles limo arcillosos intercalados entre estas areniscas (López Alfonsín *et al.*, 2012). Estos deslizamientos, exponen acuíferos colgados, permitiendo la infiltración del agua en las superficies de corte de los deslizamientos, lubricándolos y aumentando las presiones intersticiales, favoreciendo así la continuidad de los deslizamientos.

Dentro de las mediciones de esta erosión y retroceso del acantilado se han registrado valores promedio entre El Faro de Río Negro y Bahía Creek de 0,81 m/año entre 1934 – 1958, 2,06 m/año entre 1958 – 1970 y 1,08 m/año entre 1970 – 2003 (del Río *et al.*, 2007). Esto refleja una reducción en el proceso de retroceso dentro del último período analizado.

Para el área de Bahía Creek en particular, se tomaron mediciones entre un punto de referencia y el borde del acantilado y se registró un retroceso de 8,8 m entre los años 1958 – 2003, lo que representa una velocidad de 0,2 m/año (del Río *et al.*, 2007).

## **7.2. Cálculo de los índices de Peligro e Impacto en el retroceso del acantilado**

Conociendo estas características que le confieren cierta vulnerabilidad al acantilado y pueden significar un riesgo si se toma en cuenta la actividad antrópica, se realizó el análisis de vulnerabilidad de los acantilados en Bahía Creek ante la erosión costera tomando como base la metodología empleada por Del Río y Gracia (2007, 2009), sumado a algunas modificaciones. Para ello se realizó una aproximación semicuantitativa mediante la aplicación de un Índice de Riesgo que incluye los principales factores que afectan a la estabilidad de los acantilados de la zona. Dicho procedimiento se basa en la selección, escalamiento y evaluación de una serie de variables físicas, geomorfológicas y dinámicas que determinan la potencial pérdida del acantilado (peligro de erosión del acantilado), junto con otras variables socioeconómicas relacionadas con el ser humano que controlan el potencial daño (impacto de erosión). Se eligieron esas variables porque Bahía Creek posee un clima templado, costa clástica y la escala

temporal y espacial se ajustan al modelo propuesto por Del Río y Gracia (2009). Las variables utilizadas fueron evaluadas y clasificadas mediante la observación en el campo, la observación de imágenes satelitales y fotografías de la zona de estudio y mediante la consulta bibliográfica.

Los principales factores que afectan al acantilado se combinan en dos índices separados, el Índice de Peligro y el Índice de Impacto, que en conjunto constituyen el Índice de Riesgo como una sola medida numérica del riesgo para un área determinada (Del Río y Gracia, 2009). Los resultados obtenidos permiten clasificar los acantilados en función de su vulnerabilidad y ayudan a conocer los principales factores y procesos más importantes involucrados en su retroceso.

Cabe aclarar que para este capítulo se realizó el índice aquí explicado pero no se realizaron mediciones específicas a través de imágenes satelitales por no poseer un ángulo de captura adecuado y por la sombra que se produce bajo el acantilado.

Cada variable ( $a_n$ ) se dividió en cuatro clases según su influencia en la vulnerabilidad de los acantilados, asignándoles un valor de 1 a las menos influyentes y un valor de 4 a las más influyentes (Tablas 7.1 y 7.2). Las variables se ponderaron con factores ( $f_n$ ) de acuerdo con su importancia relativa en la determinación del riesgo general de erosión del acantilado y su impacto. Una cuestión importante con respecto a la evaluación de las variables es la conveniencia de adoptar el enfoque del peor caso cuando la clasificación apropiada no está clara y hay dos posibilidades de clasificación (Del Río y Gracia 2007, 2009) y en algunos casos del presente trabajo se optó por utilizar valores intermedios entre cada clase.

Sobre la base de estas premisas, se eligieron once factores que determinaron tanto la erodabilidad del acantilado como la erosividad de los agentes dinámicos como variables ( $a_n$ ) para construir el Índice de Peligro (Tabla 7.1). Posteriormente se realizó una ponderación de estas variables con el fin de evitar la subestimación de las más relevantes localmente, así como la sobreestimación de las menos determinantes. De esta manera los aspectos más relevantes son generalmente aquellos relacionados con los materiales de los acantilados y la amortiguación que pueden brindar las playas, considerándose las variables *litología del acantilado* (variable A), *pendiente* (variable C) y *playa de protección* (variable D) como determinantes y ponderándose con un factor 1. Por otro lado, las variables *estructura del acantilado* (variable B), *plataformas rocosas* (variable E), *estructuras de ingeniería en el pie del acantilado* (variable F), *exposición a*

*los frentes de las olas de tormenta* (variable H) y *diferencia entre la altura de olas de tormenta y modales* (variable I), muestran una importancia intermedia y se consideran como variables indirectas, ponderándose con un factor de 0,8. Los restantes parámetros son los menos significativos, dentro de ellos se encuentra el *rango de marea* (variable G), la *tendencia relativa del nivel del mar* (variable J) y las *precipitaciones* (variable K), y son ponderados con un factor 0,5 (Del Río y Gracia, 2009).

Las variables A, B y C intervienen en la estabilidad del acantilado. Las variables D, E y F actúan como amortiguación de los acantilados, disipando la energía de las olas. Mientras que los agentes dinámicos que actúan sobre el acantilado están compuestos por las variables G, H, I, J y K.

El Índice de Impacto (Tabla 7.2), en cambio, está constituido por una combinación de seis variables relacionadas con la exposición y con la vulnerabilidad, que en conjunto representan los factores socioeconómicos que determinan el impacto de la erosión del acantilado en las actividades humanas. Para este índice las variables también fueron ponderadas según su importancia. El *principal uso del suelo* (variable A) y la *densidad de población* (variable E) pueden considerarse como elementos determinantes, por lo que se ponderan con un factor 1. El *porcentaje de áreas desarrolladas* (variable B) y *presencia y tipo de redes de transporte* (variable D) poseen importancia intermedia y se ponderan con un factor de 0,8. La *presencia de reservas naturales* (variable C) y la *tasa de variación de la población* (variable F) son consideradas los aspectos menos significativos y se ponderan con un factor 0,6.

Las variables A, B y D deben ser evaluadas desde el borde del acantilado hasta 100 metros hacia el continente. A su vez las variables E y F deben contar con datos actualizados y el mayor nivel local posible.

Variable ( $a_n$ )	Rangos de peligro	Factor ( $f_n$ )
Litología del acantilado <i>A</i>	1- Calizas, plutónicas, volcánicas, metamórficas 2- Pelitas, areniscas, conglomerados 3- Metamórficas no resistentes, sedimentos finos consolidados, material grueso no consolidado 4- Materiales finos no consolidados	1
Estructura del acantilado <i>B</i>	1- Homogéneo, sin discontinuidades significativas 2- Secuencias con alternancia de litologías duras/blandas 3- Arroyos e incisiones costeras y/o moderadas fallas, fracturas, diaclasas 4- Badlands costeros y/o abundantes fallas, fracturas, diaclasas	0,8
Pendiente del acantilado <i>C</i>	1- < 25° 2- 26°-50° 3- 51°-75° 4- > 75°	1
Protección de playa <i>D</i>	1- Playa amplia 2- Playa intermedia 3- Playa estrecha 4- Sin playa	1
Plataforma rocosa <i>E</i>	1- Plataforma intermareal ancha y continua 2- Plataforma intermareal estrecha y discontinua 3- Plataforma submareal 4- Sin plataforma	0,8
Estructuras ingenieriles al pie del acantilado <i>F</i>	1- Escollera o muro de contención 2- Estructura de protección abandonada o puntual 3- Sin estructuras ingenieriles 4- Diques o espigones cercanos que causen erosión inducida	0,8
Rango mareal <i>G</i>	1- Hipermareal (MSTR>6m) 2- Macromareal (MSTR 4-6m) 3- Mesomareal (MSTR 2-4m) 4- Micromareal (MSTR <2m)	0,5
Exposición a los frentes de olas de tormenta <i>H</i>	1-Ángulo 81°-90° (normal a la costa) 2-Ángulo 46°-80° 3-Ángulo 11°-45° 4-Ángulo <10° (subparalelo a la costa)	0,5
Diferencia entre la altura de las olas modales y de tormenta <i>I</i>	1- < 0,5m 2- 0,5m -2 m 3- 2m -3,5 m 4- >3,5 m	0,8
Tendencia relativa del nivel del mar <i>J</i>	1- Cambia < -1mm/año 2- Cambia -1mm/año a +1mm/año 3- Cambia +1mm/año a +2,5mm/año 4- Cambia > +2,5mm/año	0,5
Precipitaciones <i>K</i>	1- Media anual <500mm 2- Media anual 500-1000mm 3- Media anual 1000-1500mm 4- Media anual >1500mm	0,5

Tabla 7.1. Índice de Peligro.

Variable (an)	Rangos de impacto	Factor (fn)
Uso del terreno A	1- Áreas naturales 2- Tierras de cultivo 3- Edificios dispersos o estacionamiento 4- Áreas densamente urbanizadas y/o industriales	1
Porcentaje de áreas desarrolladas B	1- Desarrollo 0-25% 2- Desarrollo 26-50% 3- Desarrollo 51-75% 4- Desarrollo 76-100%	0,8
Presencia de reservas naturales C	1- No consideradas 2- Ausentes 3- Presentes 4- No consideradas	0,6
Presencia y tipo de redes de transporte D	1- Sin estructuras para tráfico vehicular 2- Calles menores 3- Calles mayores 4- Autopistas y/o vías	0,8
Densidad de población E	1- < 50 personas/km <sup>2</sup> 2- 51-300 personas/km <sup>2</sup> 3- 301-1000 personas/km <sup>2</sup> 4- > 1000 personas/km <sup>2</sup>	1
Tasa de cambio de población F	1- anual < 0,1% 2- 0,1% < anual < 2% 3- 2% < anual < 5% 4- anual > 5%	0,6

Tabla 7.2. Índice de Impacto.

Tanto el Índice de Peligro absoluto ( $IP_{abs}$ ) como el Índice de Impacto absoluto ( $II_{abs}$ ) se calcularon mediante la suma de los valores de las variables ponderadas.

$$IP_{abs} = \sum a_n f_n$$

$$II_{abs} = \sum a_n f_n$$

Luego, se normalizaron estos resultados con respecto a los valores máximo y mínimo teóricos de los índices, para lograr obtener el Índice de Peligro relativo ( $IP_{rel}$ ) y el Índice de Impacto relativo ( $II_{rel}$ ), más realistas y formulados como porcentaje del peligro máximo teórico e impacto máximo teórico respectivamente.

$$\text{máx rango } IP_{abs} = \text{máx } IP_{abs} - \text{mín } IP_{abs}$$

$$IP_{rel} = [(IP_{abs} - \text{mín } IP_{abs}) / \text{máx rango } IP_{abs}] * 100$$

$$\text{máx rango } II_{abs} = \text{máx } II_{abs} - \text{mín } II_{abs}$$

$$II_{rel} = [(II_{abs} - \text{mín } II_{abs}) / \text{máx rango } II_{abs}] * 100$$

Finalmente, el Índice de Peligro y el Índice de Impacto se combinaron para obtener el Índice de Riesgo compuesto. Los resultados obtenidos permiten realizar una catalogación y zonación de los acantilados estudiados en función de su mayor o menor susceptibilidad a sufrir retrocesos rápidos a corto y medio plazo y de las actividades humanas amenazadas por este proceso. Como un índice posee once variables (Índice de Peligro) y otro seis (Índice de Impacto), se tuvieron que combinar ambos índices por medio de un promedio ponderado de ambos en función de su número de variables para lograr obtener el Índice de Riesgo (Del Río y Gracia, 2009). Para obtener el valor del mismo se realiza el siguiente cálculo:

$$[(IP_{rel} * 11) + (II_{rel} * 6)] / 17$$

Es importante destacar que esta clasificación se llevó a cabo teniendo en cuenta los procesos y características presentes actualmente en la costa de Bahía Creek, por lo que se trata de un índice relativo y sólo aplicable a la zona de estudio.

La mejor manera de establecer un esquema de zonificación es aplicar los índices sobre unidades homogéneas o rasgos de costa, cada uno de ellos mostrando una litología, una pendiente, un uso de la tierra bastante uniforme, etcétera. Por esta razón, el índice propuesto puede ser considerado con un enfoque de escala media y puede aplicarse sobre zonas costeras a escalas entre algunos cientos de metros y pocos cientos de kilómetros (Del Río y Gracia, 2009).

Para obtener un conocimiento del riesgo de la zona de estudio, el mismo es dividido en muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 7.3).

Riesgo	Categoría
0 – 20 %	Muy bajo
21 – 40 %	Bajo
41 – 60 %	Medio
61 – 80 %	Alto
81 – 100 %	Muy alto

Tabla 7.3. Categorías en base al resultado final del Índice de Riesgo.

### 7.2.1 Resultados y discusión

Se tomaron tres sectores, que en su conjunto abarcan desde donde finaliza el acantilado activo (1 km aprox. Al O de la localidad de Bahía Creek) hasta 2,5 km al E del sector habitado, con el fin de estudiar sus características y utilizarlas para calcular los índices anteriormente mencionados. Se eligió de esta forma ya que, si bien la costa acantilada en ese sector resulta bastante homogénea, por un lado el sector habitado cuenta con ciertas características propias de esta ocupación y su zona occidental difiere en algunos aspectos de la oriental. La precisa división de los sectores se muestra en la figura 7.1. Para su practicidad los sectores fueron denominados A, B y C de oeste a este.

A continuación se presentan las características (con sus valores correspondientes) de cada zona, basándose en las variables explicadas anteriormente (Tabla 7.1 y 7.2).

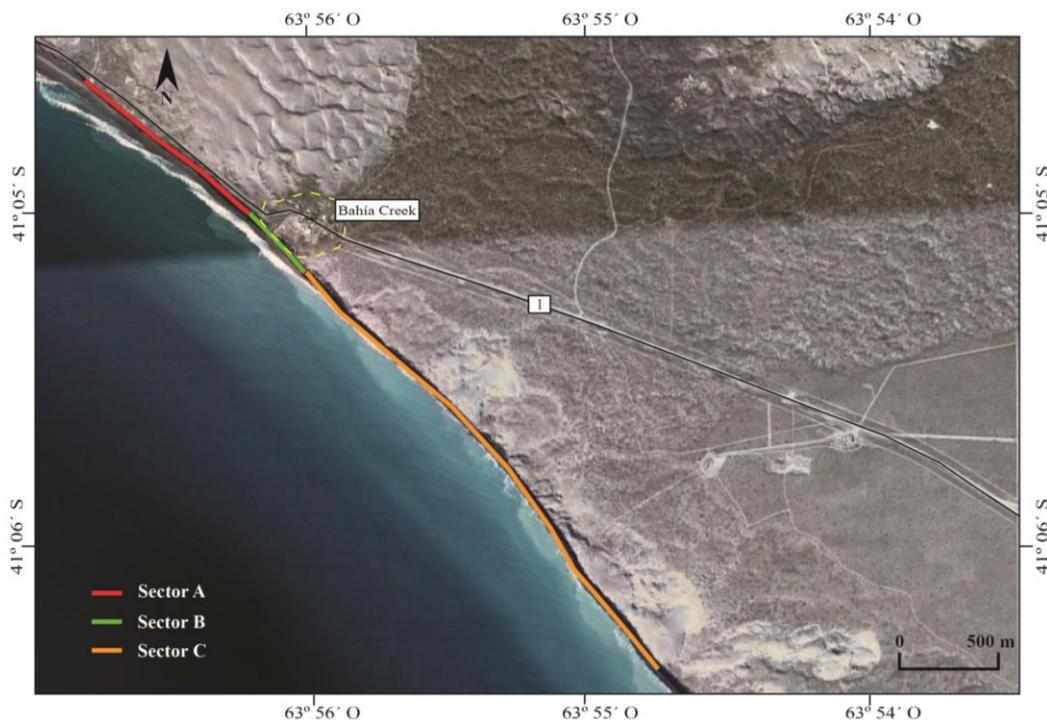


Figura 7.1. Sectores estudiados para realizar los índices de riesgo. Imagen original extraída de Google Earth.

*Litología del acantilado:* como se mencionó en el perfil (capítulo 3), realizado en el sector B, se observan depósitos correspondientes principalmente a la Formación Río Negro, acompañados

por depósitos actuales (Fig. 3.6). A esta variable se le asigna un valor de 2,5 en los tres sectores ya que no hay cambio significativo lateralmente.

*Estructura del acantilado:* en el frente del acantilado se observan estructuras, diaclasas en su mayoría, reconociéndose por lo menos dos juegos de diaclasas verticales, uno paralelo y otro perpendicular al acantilado (Fig. 7.2). Además hay fracturas que no resultan abundantes pero sí se pueden apreciar en el corte realizado por la bajada a la playa (sector B), donde también se pudieron definir fallas normales, que en su conjunto tienen un rechazo de 1 metro (Fig. 3.4). Al no haber un corte del acantilado esto no se observa en los otros sectores. Estas características le confieren un valor de 3 a la variable en todos los sectores, al presentar moderadas fracturas, fallas o diaclasas.

*Pendiente del acantilado:* en el área de estudio el acantilado es vertical o prácticamente vertical, es decir con una pendiente  $>75^\circ$ , lo que le confiere un valor 4 a esta variable (Fig. 7.2).

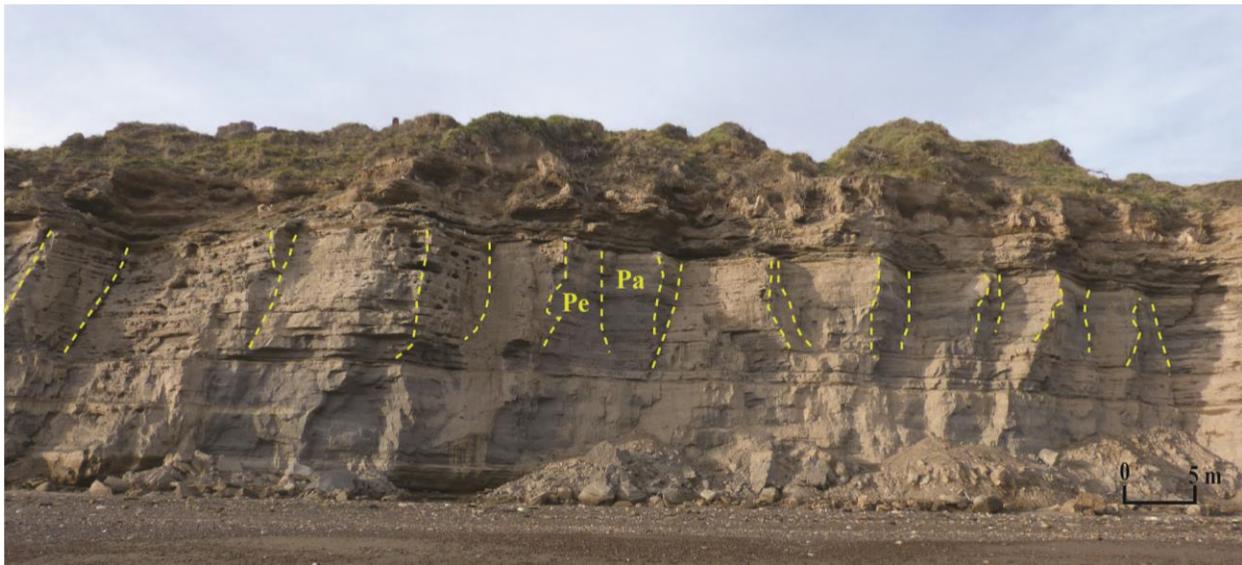


Figura 7.2. Acantilados en el límite entre los sectores B y C, donde se puede apreciar la verticalidad y los dos juegos de diaclasas verticales prácticamente perpendiculares entre sí, uno paralelo (Pa) y otro perpendicular (Pe) al acantilado.

*Protección de playa:* en cuanto a la presencia de playa, en los sectores A y B se observa que la marea llega al acantilado solo durante mareas vivas o temporales (playa intermedia), mientras

que en sector C lo hace durante las pleamares, dando lugar a una playa estrecha. Finalmente el valor que toma esta variable en los sectores A y B es 2 y en el sector C, 3.

*Plataforma rocosa:* para los tres sectores se registra una plataforma rocosa intermareal estrecha y discontinua, ya que se puede apreciar cuando baja la marea pero no está presente en la totalidad de la playa (Fig. 7.3), esto le confiere a la variable el valor 2 en todos los casos.



Figura 7.3. Plataforma intermareal estrecha y discontinua, mirando hacia el SE (a) y hacia el NO (b).

*Estructuras ingenieriles al pie del acantilado:* ninguno de los segmentos presenta estructuras ingenieriles tal como plantea la metodología empleada, pero sí es importante destacar que dentro del sector B se encuentra una bajada a la playa no realizada de la mejor manera, ya que es perpendicular al acantilado, no en J como recomiendan ciertos autores como del Rio *et al.* (2004), ni tampoco posee algún tipo de defensa contra la escorrentía o caída de bloques. De todas formas el valor asignado a esta variable fue 3 “sin estructuras ingenieriles” ya que no hay ninguna de las mencionadas en la metodología.

*Rango mareal:* los valores de marea pronosticados para el puerto patrón más cercano, San Antonio Este (60 km al O de Bahía Creek), corresponden a un régimen mareal semidiurno y a un ambiente macromareal, siendo las pleamares máximas registradas de 9,63 m y las mínimas bajamares de 0,16 m (Servicio de hidrografía Naval 2011; Kokot y Chomnalez, 2012), coincidiendo con la amplitud máxima expresada por Fucks *et al.*, (2011) de 9,57 m, registrada también en San Antonio Este. Para los límites del índice propuesto, estos valores entran en el campo de régimen hipermareal, por lo tanto a la variable se le asigna un valor 1 en todos los sectores.

*Exposición a los frentes de olas modales y de tormenta:* la orientación de la costa para los tres sectores es SO, teniendo en cuenta la acción de olas provenientes del este y del sudeste, predominando netamente las segundas (Kokot y Chomnalez, 2012), a la variable se le asignó un valor de 1,2 en las tres zonas ya que los frentes de las olas son normales a la orientación de la costa en la mayoría de las ocasiones.

*Diferencia entre la altura de olas modales y de tormenta:* los datos de energía de olas incidentes sobre la costa argentina son escasos y en general no publicados, ya que los estudios están habitualmente relacionados a obras de ingeniería portuaria. Estudios realizados en Puerto Quequén, la localidad más cercana a la provincia de Río Negro indican: altura media de ola = 1,33 m, altura máxima de ola = 3,61m y un período de 8 segundos (Kokot *et al.*, 2004). A su vez, según estudios realizados por Fucks *et al.*, (2011) dentro del Golfo San Matías, mediante cálculos numéricos a través de interpolación, el valor medio anual para la altura significativa de las olas resultó ser 0,50 m y para la altura significativa total de casi 2 m. Teniendo en cuenta estos datos, los valores oscilan entre 1,5m y 2,28m, por lo tanto el valor asignado a la variable es 2,4 en los tres sectores.

*Tendencia relativa del nivel del mar:* para la costa argentina, se pueden tener en cuenta datos del mareógrafo de Buenos Aires, con valores entre 1905 y 1987, que dan una tendencia al ascenso del nivel del mar de 1,6 mm/año (Kokot *et al.*, 2004). También se han registrado valores similares, 1,4 mm/ año, en Mar del Plata entre los años 1954 y 1992 (Lanfredi *et al.*, 1998) y en Puerto Quequén, 1,4 mm/ año, entre 1918 y 1981 (Lanfredi *et al.*, 1998). Estos datos la dan a la variable el valor 3, ascenso entre 1mm/año a 2,5mm/año en toda la zona de estudio.

*Precipitaciones:* las precipitaciones anuales medias raramente superan los 300mm (López Alfonsín *et al.*, 2012), siendo entre 1992 y 2008 de 287,3 mm (Fucks *et al.*, 2011), por lo tanto, a esta variable se le asignó el valor 1 en los tres sectores.

*Uso del terreno:* los usos actuales del terreno a 100 m del acantilado en los sectores A y C están dominados por áreas naturales sin urbanizar, por lo tanto la variable toma el valor 1. En

cambio el sector B cuenta con edificaciones bastante dispersas correspondientes a las casas del poblado de Bahía Creek, por lo tanto se le asigna a la variable el valor 2,5 (Fig. 7.4).



Figura 7.4. Zoom de la figura 7.1 donde se puede ver los primeros 100 metros de terreno de los tres sectores desde el borde del acantilado hacia el continente y las construcciones y usos que se le dan. Imagen original extraída de Google Earth.

*Presencia de reservas naturales:* el área natural protegida Caleta de los Loros, mediante Decreto 1840/84 y Ley 2669/93, fue declarada Reserva de Usos Múltiples Caleta de los Loros en el año 1984, sin embargo solo está en las cercanías del área de estudio, siendo en este punto 2 el valor de la variable.

*Porcentaje de áreas desarrolladas:* los sectores A y C no presentan áreas desarrolladas mientras que el sector B lo hace en un bajo porcentaje, de esta forma se asignó un valor de 1 en los tres casos (Fig. 7.4).

*Presencia y tipo de redes de transporte:* en las cercanías al acantilado en el sector C no se observan estructuras para tráfico vehicular, por lo tanto la variable tiene valor 1, mientras que en los sectores A y B apenas hay una vía de circulación (ruta de la costa), muy poco transitada, salvo en ocasiones de época estival, de esta forma la variable toma el valor 2 en el sector A (debido a que ocupa todo el sector) y 1,5 en el sector B (debido a que solo ocupa una porción dentro del límite de los 100 m) (Fig. 7.4).

*Densidad de población:* la región (departamento Adolfo Alsina), según el INDEC (censo 2010), cuenta con una densidad de población de 6,5 habitantes por km<sup>2</sup>, por lo tanto, la variable toma el valor 1 en el total de sectores. Esta aumenta en temporada estival, pero por un período de tiempo muy corto y en un número no demasiado significativo.

*Tasa de cambio de población:* según datos del Banco Mundial el crecimiento demográfico en Argentina desde 1960 a la actualidad oscila entre 0,98% y 1,72%, por lo tanto, la variable toma el valor 2 en los tres casos.

En la tabla 7.4 se indican los resultados del índice de Riesgo, para el cual se obtuvieron los valores de 35,73 en el sector A, 38,43 en el sector B y 36,40 en el sector C, correspondientes a las categorías de **bajo riesgo** para los tres sectores (Tabla 7.3).

	Índice	Variables											IPabs/Ilabs	IPrel/Iltre	IR
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			
Sector A	Peligro	2,5	3	4	2	2	3	1	1,2	2,4	3	1	20,92	51,71	35,73
	Impacto	1	2	1	2	1	2	-	-	-	-	-	6,8	13,89	
Sector B	Peligro	2,5	3	4	2	2	3	1	1,2	2,4	3	1	20,92	51,71	38,43
	Impacto	2,5	2	1	1,5	1	2	-	-	-	-	-	7,9	21,53	
Sector C	Peligro	2,5	3	4	3	2	3	1	1,2	2,4	3	1	21,92	55,77	36,40
	Impacto	1	2	1	1	1	2	-	-	-	-	-	6	8,33	

Tabla 7.4. Valores asignados a cada variable junto con los valores de los índices de Peligro e Impacto relativo y absoluto y el Índice de Riesgo final.

Las variables más significativas que contribuyeron a este índice en cuanto al peligro son la pendiente del acantilado, las discontinuidades y la ausencia de obras ingenieriles, las cuales podrían contribuir a la atenuación de daños locales, sin embargo no es lo más recomendable intervenir antrópicamente la costa, sino que el desarrollo esté en la mejor armonía posible con el medio ambiente. En cuanto al impacto, no hay variables de significativa importancia, propio de

una zona que cuenta con un desarrollo muy incipiente hasta la actualidad. De todas formas hay que tener en cuenta que la presencia humana constituye tanto un factor intrínseco de la vulnerabilidad como una causa directa de erosión de los acantilados en muchos casos.

Finalmente se pudo comprobar que el Índice de Riesgo concuerda con la erosión reciente registrada o estimada visualmente en el área de estudio, la cual es moderada. Dicha erosión se puede observar en una porción del sector A (Fig. 7.5) o en las cercanías a la bajada a la playa (sector B; Figs. 7.9 y 7.10) y en el sector C (Fig. 7.6); así como también mediante imágenes satelitales (Figs. 7.7 y 7.8). A su vez la baja vulnerabilidad obtenida mediante el Índice de Riesgo coincide con los bajos valores de retroceso del acantilado obtenidos por del Rio *et al.* (2007), siendo 0,2 m/año en Bahía Creek.



Figura 7.5. Erosión causada por remoción en masa en el sector A.



Figura 7.6. Erosión causada por remoción en masa en el sector C.

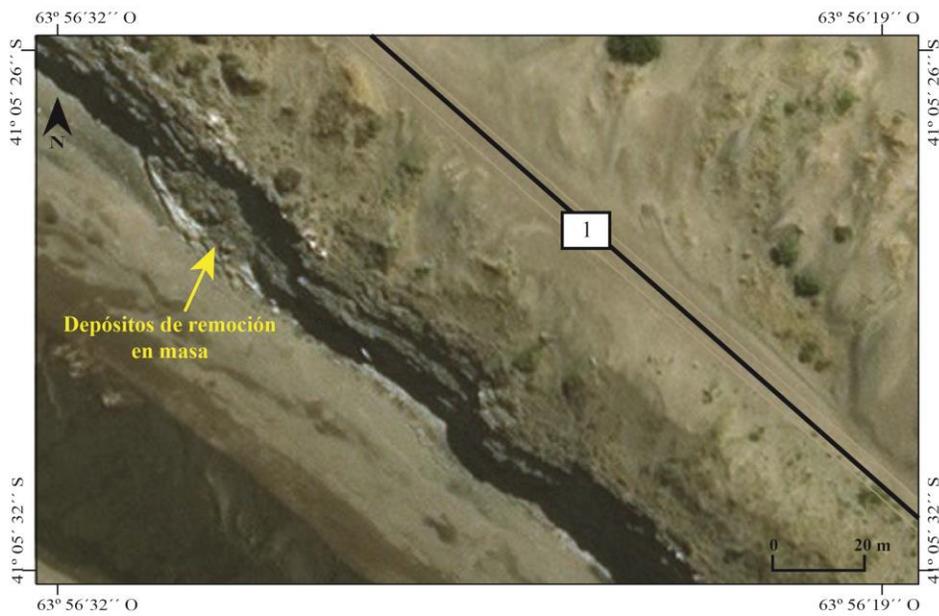


Figura 7.7. Erosión causada por remoción en masa en el sector A, en una porción del acantilado ubicada a 25 metros de la ruta Provincial N°1. Imagen original extraída de Bing Maps.

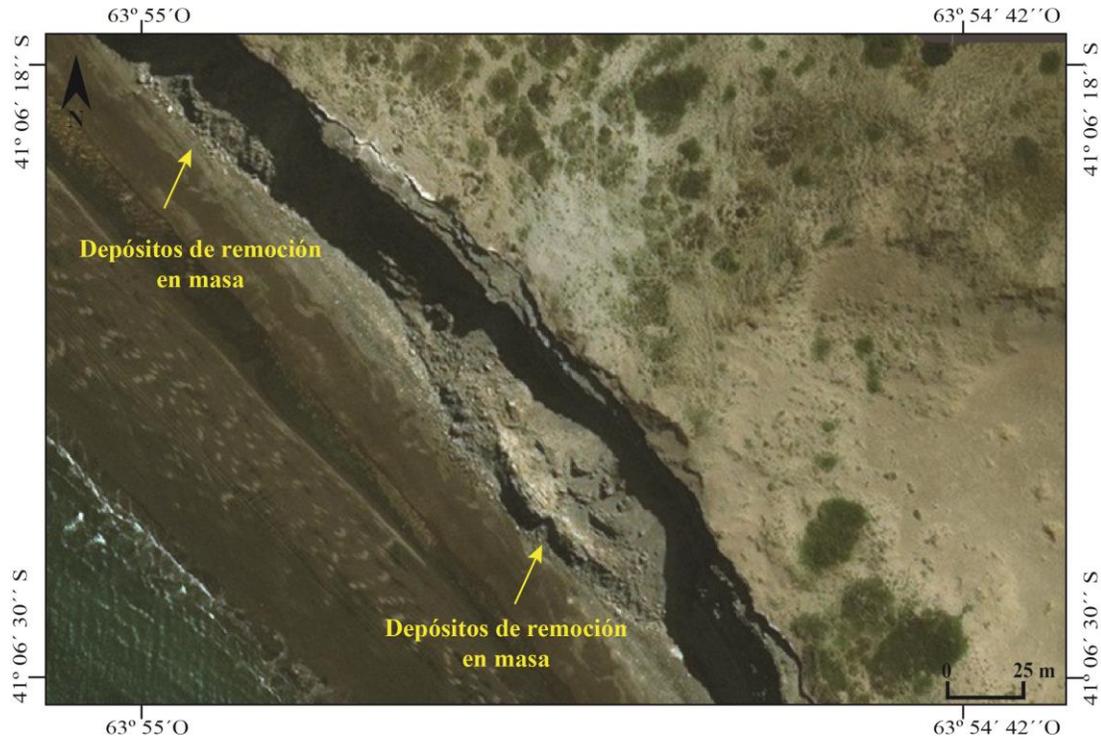


Figura 7.8. Erosión causada por remoción en masa en el sector C, en una porción del acantilado con una longitud mayor a los 100 metros. Imagen original extraída de *Bing Maps*.

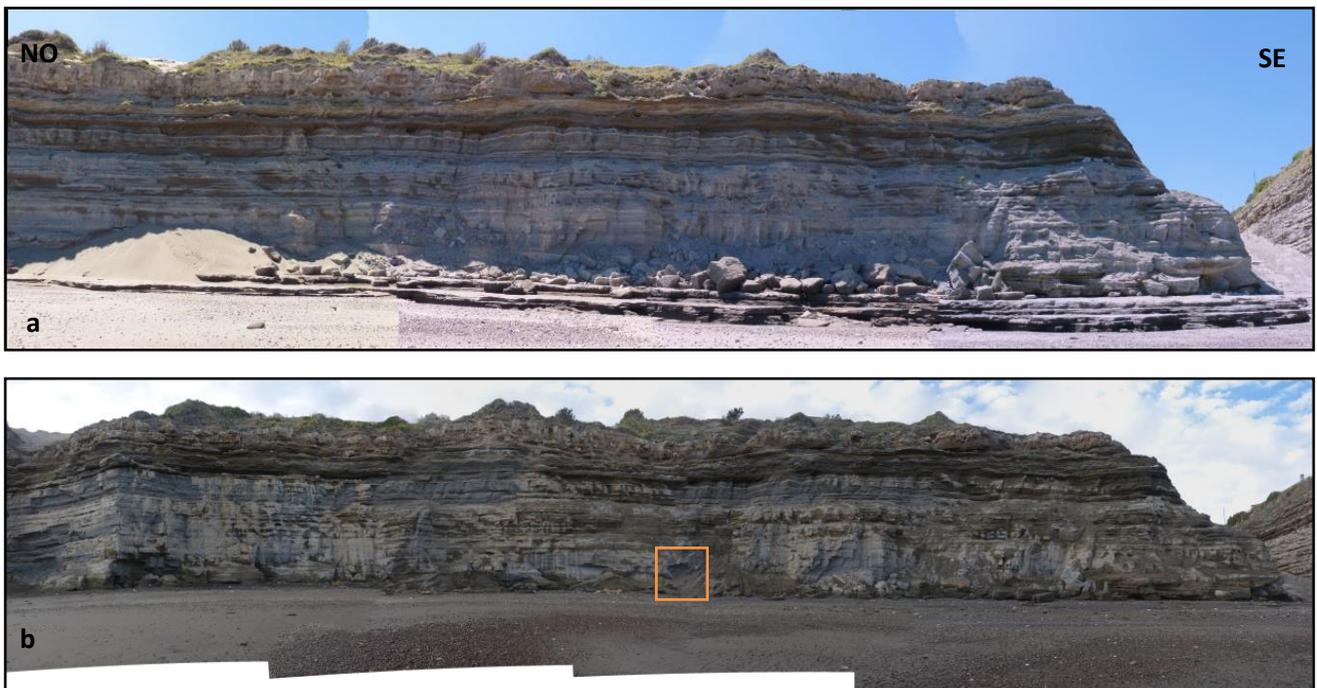


Figura 7.9. Imágenes panorámicas del acantilado inmediatamente al O de la bajada de Bahía Creek, donde puede observarse cómo actúa la marea llevándose material caído producto de procesos de remoción en masa y salvo un

punto en particular (recuadro naranja) no se aprecian movimientos considerables del tipo recién mencionado. (a) octubre de 2016 y (b) mayo de 2017.

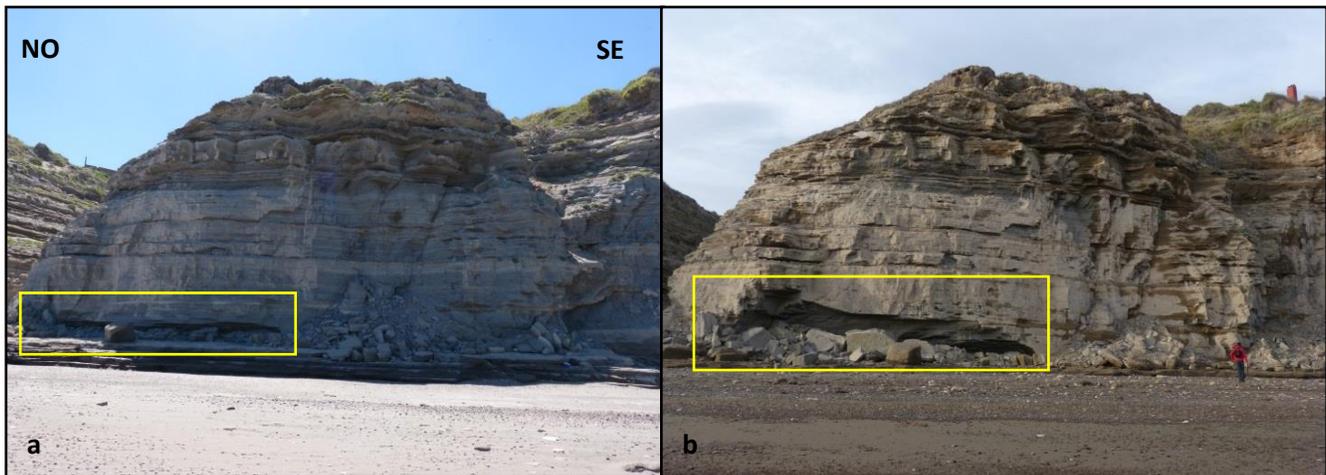


Figura 7.10. Imágenes del acantilado inmediatamente al E de la bajada de Bahía Creek, donde se puede apreciar un desprendimiento importante (20x3 m aprox.) en la base del acantilado. (a) octubre de 2016 y (b) mayo de 2017.

### 7.3 Avance del campo de dunas

Resulta imprescindible conocer la dinámica del campo de dunas para saber que porción de la población puede verse afectada por su migración así como también interpretar que sitios son los más factibles para construir asentamientos futuros.

Se consideran dunas las acumulaciones de arena con longitudes de onda mayores a 1 metro. La sedimentación de arena sucede cuando el flujo de aire está saturado en arena, con cambio de dirección del viento, si las partículas en movimiento se topan con un lugar resguardado o si disminuye la intensidad del viento (Sanjaume y Gracia, 2011).

Están compuestas por cara de barlovento, cresta y cara de sotavento. A medida que la nueva duna crece hacia arriba, las partes superiores quedan sujetas a vientos más rápidos que las partes inferiores. Los vientos ligeros erosionan la cresta mientras que la base de la duna está inactiva, y así crean un perfil convexo. En la pendiente de sotavento el flujo es muy errático, la cara de deslizamiento cae en un ángulo que es mayor que el ángulo de vuelo descendente general de los granos y, cuando la caída del grano ha acumulado la pendiente de sotavento más allá de un

ángulo crítico (comúnmente entre 30° y 33°), falla, y la arena fluye hacia abajo para formar una "cara deslizante" (Livingstone y Warren, 1996).

A su vez, es importante mencionar que la zona de estudio cuenta con varias características necesarias para el desarrollo de dunas litorales (Sanjaume y Gracia, 2011). Dentro de estas características destacan: fuerte suministro de material, transporte litoral libre, intensos vientos marinos de mar a tierra, precipitaciones moderadas, escasa humedad atmosférica, playas de poca pendiente, zonas con amplio rango de marea y la topografía de la zona continental adyacente a la playa suficientemente amplia y plana (sin acantilados).

### 7.3.1 Acción del viento

El estudio del viento resulta fundamental a la hora de analizar los sistemas de dunas. En condiciones naturales el movimiento del aire atmosférico se produce a ráfagas y, al moverse sobre una superficie irregular, genera turbulencias. Cuando se alcanza un umbral crítico de velocidad de cizalla, los granos de la superficie comienzan a rodar producto de la presión directa del viento. A su vez, las partículas son movilizadas por el viento de tres formas principales: suspensión, saltación y reptación (Sanjaume y Gracia, 2011).

En la tasa de transporte del viento también influye su dirección, el tamaño y la densidad del grano, la densidad temperatura y humedad del aire y las características superficiales: pendiente y ancho de la playa, vegetación y la actividad humana, es decir, construcciones o desechos en la costa (Sanjaume y Gracia, 2011).

En el estudio de los vientos resulta necesario contar con una alta resolución horaria y combinar observaciones en diferentes lugares dentro del mismo sistema de dunas junto con el análisis de la dinámica atmosférica (Mayer Suárez *et al.*, 2012).

A continuación se desarrollará el estudio de los datos de viento disponibles para el área de trabajo.

#### *Metodología*

Para determinar las características generales del viento en Bahía Creek se han utilizado los datos de las estaciones meteorológicas que tiene el Servicio Meteorológico Nacional tanto en

San Antonio Oeste (SAO) como en Viedma, situándose la primera 70 km al oeste y la segunda 70 km al noreste del área de estudio, ubicadas a escasos metros de la línea de costa. En Viedma se tienen registros desde el año 1967, mientras que en San Antonio desde 1988, y en ambos casos hasta la actualidad. A partir de esto fueron utilizados los datos desde el inicio de las mediciones hasta agosto de 2017, momento en el cual fue adquirida la información. Los registros de la dirección y velocidad del viento se han almacenado tres veces por día (9 hs, 15 hs y 21), desde las 6 hs hasta las 23 hs y durante cada hora, dependiendo los años, contando cada vez con más registros a medida que nos acercamos al presente. Con estos datos horarios se calculan en el presente trabajo las frecuencias de las direcciones anuales y mensuales, mientras que de los datos de velocidad se obtiene la velocidad media mensual y horaria, así como la variación horaria del porcentaje total de calmas.

Por otro lado, considerando el ambiente sedimentario eólico en el que se produce este trabajo, tiene interés analizar la relación que existe entre la velocidad y la dirección del viento con la movilidad de los sedimentos. Para este estudio se ha optado por considerar 5,1 m/s o 18,36 km/h como la velocidad umbral de transporte, de forma que los registros de viento con intensidad igual o superior a esta tasa se estiman como registros de “viento efectivo”. Si bien otros trabajos como Hesp y Walker (2013) sugieren que el movimiento de granos se produce cuando hay al menos vientos de 8,89 m/s, se mantuvieron los 5,1 m/s empleados por Máyer Suárez *et al.* (2012), ya que se siguió principalmente la metodología empleada en dicho trabajo y además, una rápida comparación entre las características del viento efectivo tomando las distintas velocidades no mostró diferencias relevantes dentro de los datos utilizados en el presente estudio.

Con el objetivo de establecer modelos de funcionamiento del viento en Bahía Creek, los vientos efectivos se caracterizan mediante el análisis de las frecuencias de las direcciones, y del porcentaje mensual y horario de los registros con valores iguales o superiores a la velocidad umbral.

### *Dirección del viento*

La dirección del viento en Bahía Creek muestra una tendencia de dirección NO, observada tanto en SAO (Fig. 7.11) como en Viedma (Fig. 7.12), con una frecuencia de 20% y 14% respectivamente de las direcciones anuales, seguida por otras de menor magnitud. Estas

componentes que le siguen son la NNE y ONO, con valores de 14% y 10% respectivamente de frecuencias anuales registradas en Viedma y a su vez 9% para la segunda de ellas (ONO) en SAO. Estos valores, junto a los restantes anuales y mensuales se pueden apreciar en las (tablas 7.5 y 7.6).

Ahora bien, si consideramos los rumbos de viento más frecuente en Bahía Creek, en el caso de SAO, las componentes O, ONO, NO y NNO tienen un porcentaje del 43%, frente a las direcciones E, ESE, SE y SSE, que representan el 21%, por lo que la diferencia se reduce al 22%. Para Viedma sucede algo similar, donde también las direcciones O, ONO, NO y NNO sumado a la NNE suponen un valor de 52% de las frecuencias, mientras que E, ESE, SE y SSE solo representan el 13%. Las direcciones mencionadas suponen el 64% de las frecuencias totales en la primera localidad y el 65% en la segunda. Debido a esta distribución de los vientos, el área se ubica dentro de un ambiente eólico complejo (McKee *et al.*, 1979).

Del análisis de las direcciones mensuales del viento en Bahía Creek (tabla 7.5), tomadas en SAO, se deduce que durante todo el año hay un predominio de la dirección NO, salvo en enero y diciembre donde predomina la dirección SE, evidenciando el fenómeno de brisa marina y coincidiendo con el patrón descrito sobre la base de estaciones costeras (Lucas *et al.*, 2005). A su vez se observa que entre abril y agosto hay un aumento del viento ONO y una disminución del viento SE, donde dominan los vientos costa afuera (continentales), al contrario de los meses de septiembre a marzo, donde dominan los vientos *onshore* (marítimos). También se observa en estos últimos meses una disminución en las direcciones ESE, SSE y S. Asimismo, según los datos de la estación meteorológica de Viedma, la dirección predominante durante los meses de septiembre a marzo (primavera – verano) es NNE, mientras que entre los meses de abril y agosto (otoño – invierno) predomina el viento NO (tabla 7.6), al igual que en SAO.

Además estas direcciones de viento pueden estar explicadas por los cambios estacionales del esfuerzo del viento sobre la plataforma del sudoeste del océano Atlántico. Estos vientos están en gran medida determinados por los desplazamientos meridionales del centro de alta presión del Atlántico Sur. Las mayores variaciones estacionales de la circulación eólica se observan al norte de 45° S. Durante el otoño, hay un giro en el sentido de las agujas del reloj sobre el macizo Patagónico Medio y un viento costero que fluye hacia el norte que se extiende hasta 29° S. Durante la primavera austral hay una relajación del giro patagónico y la formación de un flujo costero hacia el sur que se extiende desde Cabo Frío hasta Bahía Blanca (Palma *et al.*, 2004).

Asimismo Bahía Creek se ubica dentro del cinturón planetario de los vientos del oeste, que en la Patagonia son mantenidos en movimiento por el centro de alta presión del Pacífico Sur y el canal subpolar de baja presión (del Valle *et al.*, 2007).

Esta alternancia mensual en la dirección de los vientos es fundamental para entender el comportamiento de la dinámica sedimentaria eólica en Bahía Creek, pues la persistencia en una u otra dirección, según los meses, determina el transporte neto de los sedimentos.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
N	8	7	8	6	7	7	7	7	8	8	7	6	7
NNE	4	5	7	8	9	7	5	8	7	8	7	4	7
NE	3	3	3	3	2	1	2	2	2	3	3	3	2
ENE	3	2	2	2	2	0	0	2	1	2	2	3	2
E	8	6	4	3	3	1	2	4	4	5	6	6	4
ESE	8	6	4	3	2	1	2	3	4	5	7	7	4
SE	14	13	9	6	4	3	3	4	8	9	11	15	8
SSE	7	7	6	4	3	3	3	4	5	5	6	6	5
S	10	9	8	7	6	5	6	7	8	7	7	8	7
SSO	4	4	4	4	4	4	5	4	5	3	4	4	4
SO	4	3	4	4	4	5	5	4	5	4	5	4	4
OSO	3	2	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3
O	6	5	7	8	8	9	10	9	8	8	6	7	8
ONO	5	6	7	10	12	14	13	12	8	8	6	7	9
NO	12	16	17	25	27	32	29	25	17	15	15	11	20
NNO	5	6	7	7	9	8	7	7	7	6	5	5	7

Tabla 7.5. Frecuencia de las direcciones de vientos mensuales y anuales de todos los datos disponibles de la estación SAO.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
N	7	8	7	7	6	5	5	6	6	6	7	7	6
NNE	13	12	15	15	14	13	13	15	15	16	14	12	14
NE	8	7	5	4	3	1	2	4	6	8	9	8	5
ENE	4	4	3	2	1	1	1	1	2	3	3	3	2
E	6	5	4	2	1	2	1	2	4	4	5	6	4
ESE	4	4	4	2	1	1	1	1	2	3	3	4	3
SE	7	7	5	3	1	1	1	3	3	5	6	6	4
SSE	5	5	5	2	1	2	1	3	3	3	5	4	3
S	7	8	7		4	3	3	4	5	5	7	6	5
SSO	6	5	4	4		5	5	5	6	6	5	6	5
SO	6	5	4	6	7	6	7	5	6	6	7	7	6
OSO	3	4	3	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4
O	5	5	5	9	10	10	9	7	5	6	5	6	7
ONO	4	5	7	11	15	15	15	12	10	7	6	7	10
NO	8	10	13	15	18	21	21	17	14	11	8	8	14
NNO	7	6	9	8	9	9	10	11	9	7	6	6	8

Tabla 7.6. Frecuencia de las direcciones de vientos mensuales y anuales de todos los datos disponibles de la estación Viedma.

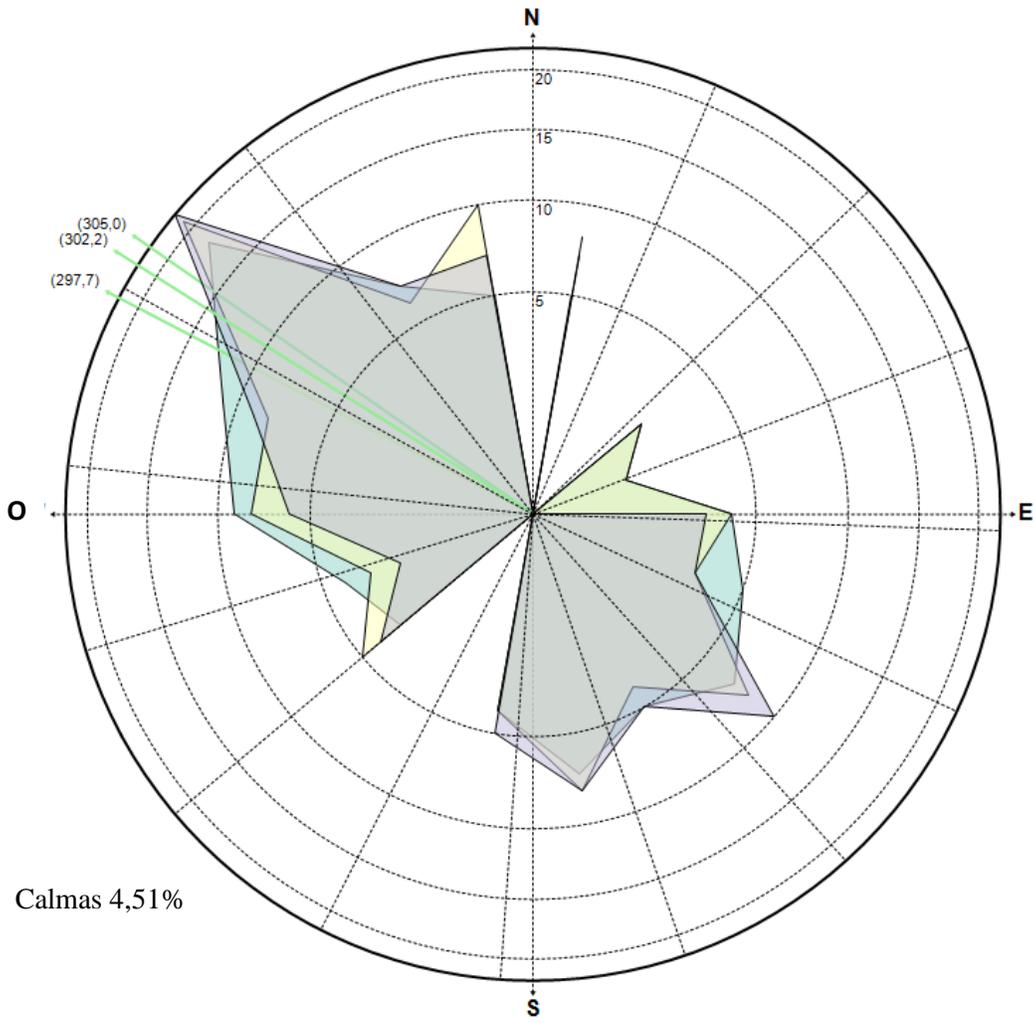


Figura 7.11. Dirección de proveniencia de los vientos totales en la estación SAO.

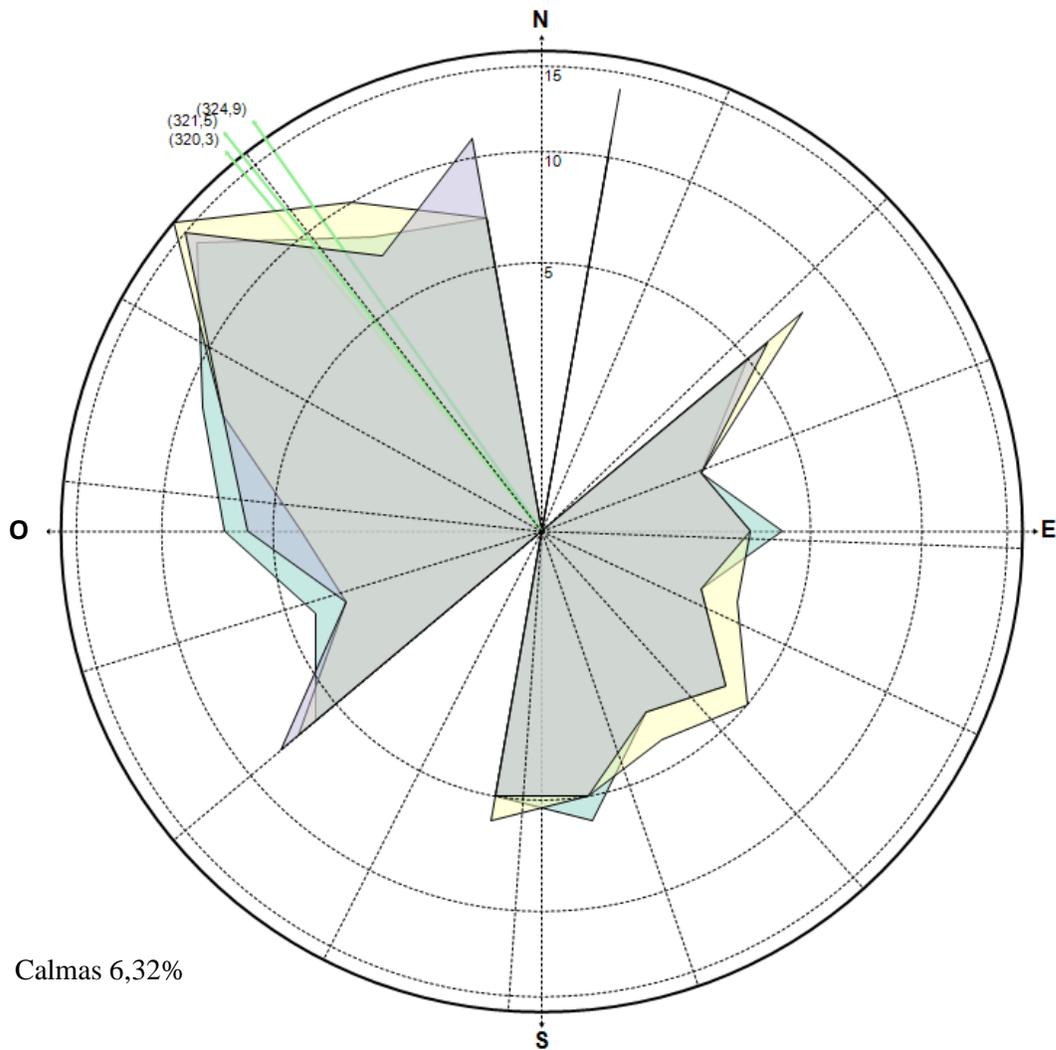


Figura 7.12. Dirección de proveniencia de los vientos totales en la estación Viedma.

### *Velocidad del viento*

Los datos mensuales evidencian que los vientos más intensos en Bahía Creek se producen en verano, especialmente en diciembre, enero y febrero (media de 24,62 km/h), mientras que durante otoño – invierno esta velocidad disminuye, siendo para los meses de mayo y junio 19,41 km/h la velocidad promedio (Fig. 7.13). Por otra parte, las mayores velocidades históricas registradas en SAO y en Viedma fueron de 89 km/h y 115 km/h respectivamente.

Otro aspecto, que ayuda a comprender el transporte sedimentario eólico en este sistema, es la variación que experimenta la velocidad media del viento a lo largo del día. Tal y como se

observa en la figura 7.14, desde las últimas horas de la tarde hasta las primeras horas de la mañana, la velocidad del viento es baja (entre las 20:00 y 9:00 horas la velocidad media es de 16,82 km/h); a partir de las 10:00 horas la velocidad incrementa hasta alcanzar el máximo de 26 – 27 km/h hacia las 15:00 o 16:00 horas. Hay que señalar que en las horas centrales del día la insolación y la temperatura son más altas, mientras que la humedad relativa disminuye, lo cual favorece aún más el movimiento de los sedimentos (Máyer Suárez *et al.*, 2012).

Con respecto a las calmas, siguen un esquema inverso al descrito para la velocidad, de manera que éstas son más frecuentes durante las horas nocturnas y justo al amanecer (hasta las 8:00 o 9:00 hs am), mientras que en las horas centrales del día prácticamente desaparecen. Los valores máximos para las calmas son superiores a 12% y los mínimos inferiores al 1% (Fig.7.15).

Pero no sólo varía la velocidad del viento a lo largo del día, sino que también lo hace la dirección. Tal y como se muestra en las tablas 7.7 y 7.8, durante todo el día, el viento que predomina en Bahía Creek es del NO; sin embargo es muy significativo que, a partir de las 11 hs hasta las 19 hs, fluyan los vientos de componente SE, entre las 19 hs y la 1 hs lo hagan los vientos de componente N y entre las 21 hs y la 1 hs también lo hagan los vientos NNE.

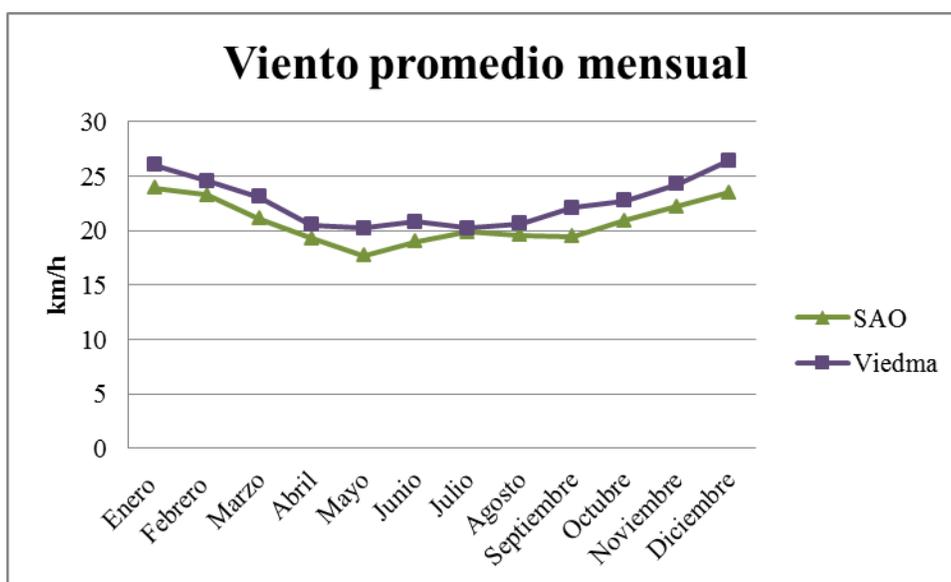


Figura 7.13. Velocidades de viento mensuales promedio correspondientes a todos los registros de SAO y Viedma.

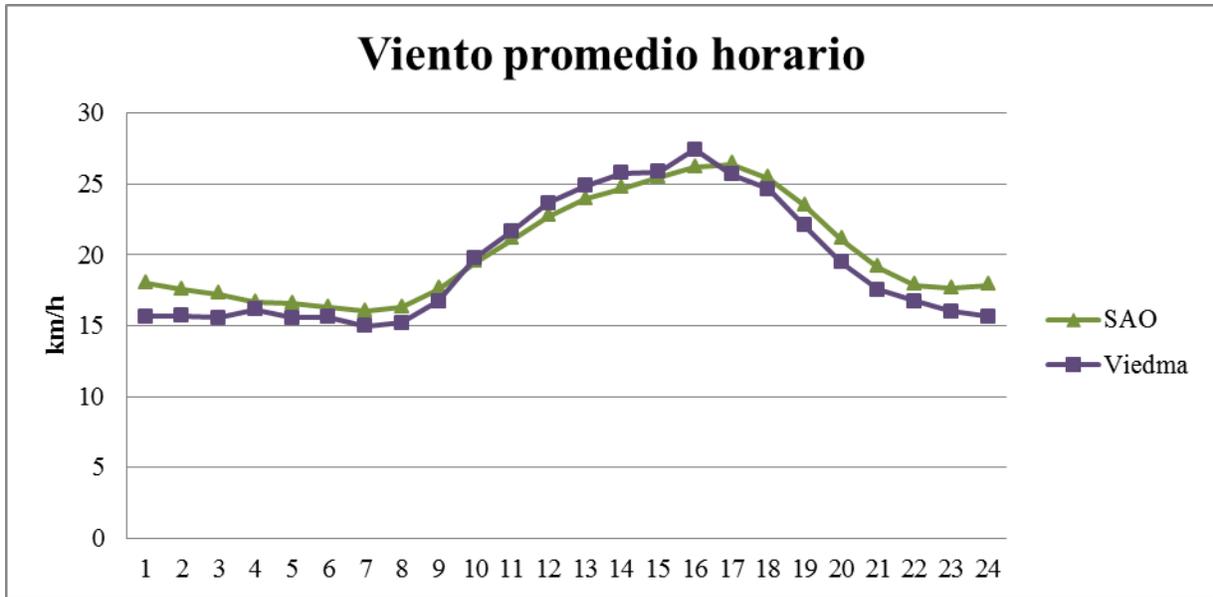


Figura 7.14. Velocidades de viento horarias promedio correspondientes a todos los registros de SAO y Viedma.

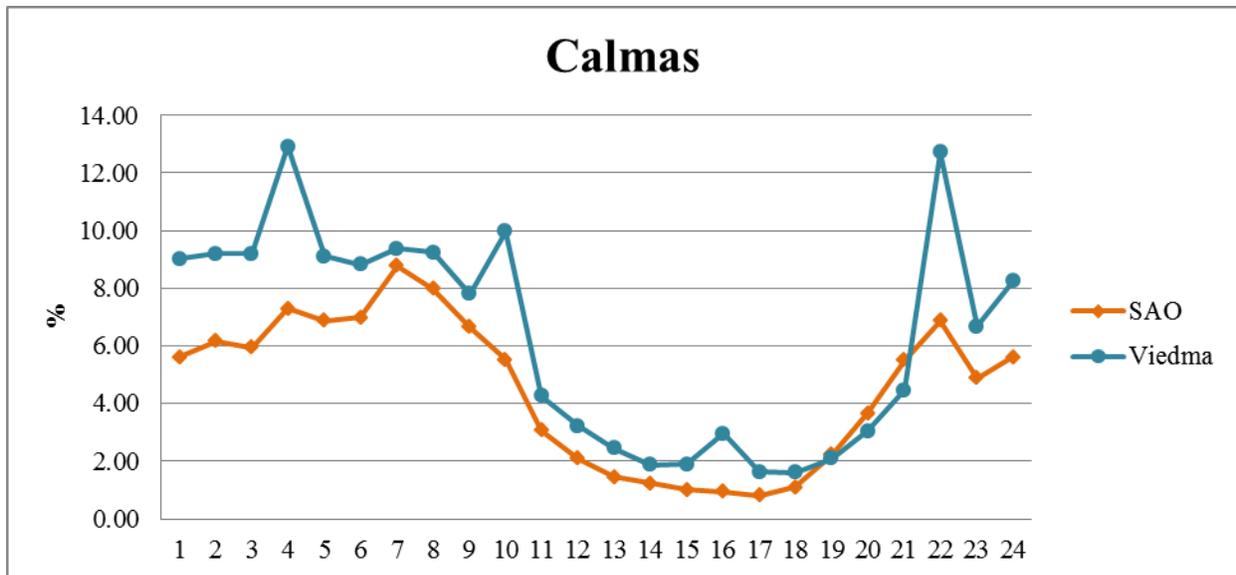


Figura 7.15. Porcentaje de calmas para las distintas horas tomadas del total de los registros de SAO y Viedma.

Dir/Hs	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	10	11	9	8	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	10	11	11	11	11
NNE	10	9	8	9	9	8	9	9	8	7	4	3	3	2	2	2	2	2	4	6	8	11	8	9
NE	4	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	5
ENE	2	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3
E	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	8	8	7	5	4
ESE	2	2	2	2	1	0	1	1	1	1	2	4	4	6	7	9	9	9	9	6	6	5	3	3
SE	4	4	3	3	3	3	2	2	3	4	6	10	12	15	15	15	15	14	12	10	8	7	5	4
SSE	3	3	3	2	2	3	3	3	3	4	6	8	8	7	7	7	6	5	5	4	4	3	4	3
S	7	7	7	8	8	9	7	7	8	10	11	10	10	8	7	6	5	5	5	5	6	6	6	7
SSO	4	4	4	4	4	5	6	6	7	7	6	6	5	4	3	2	2	2	3	3	3	4	4	4
SO	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	5	5
OSO	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
O	11	11	12	11	11	12	9	9	8	7	6	7	6	6	6	7	7	7	6	6	6	6	8	9
ONO	8	9	9	9	9	10	12	12	12	11	11	10	9	8	8	9	8	8	7	7	6	7	7	9
NO	20	22	25	26	27	27	27	27	26	24	23	21	19	19	17	16	17	16	16	16	16	15	17	19
NNO	5	5	5	4	5	5	7	7	7	8	8	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	6	5

Tabla 7.7. Frecuencia de direcciones de viento según cada hora para la estación SAO, donde se resaltan las más importantes en negrita y verde oscuro.

Dir/Hs	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	12	12	11	10	9	8	7	7	7	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	12
NNE	17	16	14	16	13	12	12	12	11	12	7	6	6	5	5	6	5	5	6	8	10	19	16	18
NE	10	7	6	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	7	9	12	13	14	12
ENE	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	5	4	4	3
E	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7	8	7	5	4
ESE	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	3	4	6	6	5	4	3	3
SE	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3	4	4	5	5	7	8	9	8	8	6	5	4
SSE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	5	5	4	6	6	6	5	4	3	3	3
S	3	3	3	4	3	4	4	4	4	6	6	7	7	7	7	8	7	7	7	6	5	5	4	3
SSO	3	3	3	4	4	4	4	5	6	5	7	8	8	9	9	7	8	7	7	5	3	2	3	3
SO	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	9	10	10	10	10	9	7	6	4	3	3	3
OSO	2	2	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	3	2	2	2
O	4	5	6	6	7	7	8	8	8	8	7	8	7	7	7	8	6	5	5	5	4	4	4	4
ONO	7	8	9	9	11	11	11	11	12	11	13	12	11	11	10	9	9	8	7	5	4	4	5	6
NO	14	15	18	18	20	20	21	20	20	19	19	17	16	15	15	13	13	12	11	10	10	9	10	12
NNO	10	12	12	11	12	11	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	8	9

Tabla 7.8. Frecuencia de direcciones de viento según cada hora para la estación Viedma, donde se resaltan las más importantes en negrita y verde oscuro.

### Características generales de los vientos efectivos en Bahía Creek

Del total de los datos horarios disponibles en Bahía Creek, en un 55% de los casos se iguala o supera la velocidad umbral de 5,1 m/s o 18,36 km/h. Tal y como se observa en las tablas 7.9 y 7.10, a partir de las 10 hs hasta las 18 hs la probabilidad de que se incremente este umbral es

considerable, y adquiere su máxima importancia entre las 12 hs y las 16 hs. A su vez, en los meses de diciembre, enero y febrero, en el 65%, 66% y 63% de los casos respectivamente, los registros horarios corresponden a vientos efectivos. Este porcentaje se reduce significativamente en los meses de otoño – invierno, hasta alcanzar el mínimo en el mes de mayo (45%).

Al observar los datos horarios, se corrobora la variación diaria del viento indicada en la figura 7.14, de manera que hacia el mediodía y primeras horas de la tarde se incrementa de forma considerable la intensidad del mismo. En todos los meses, durante esa franja horaria, los vientos superan los 5,1 m/s, especialmente hacia las 15:00 y 16:00 horas, con porcentajes que superan el 90% en noviembre, diciembre y enero (tabla 7.9 y 7.10).

Con respecto a la dirección del viento efectivo, existe una dirección predominante (figura 7.16): en SAO la NO (19%), seguida de la ONO (10%) y las O, S y SE (9% c/u), mientras que en Viedma también predomina la NO (16%), seguida de la ONO y la NNO (10% c/u). Si comparamos las direcciones que oscilan entre los 247,5° (OSO) y los 315,5° (NO) con las que hacen entre 67,5° (ENE) y 135° (SE) las diferencias son significativas: en el caso de SAO un 43% frente a un 21% respectivamente, mientras que en Viedma las primeras poseen un valor de 36% frente al 12% de las segundas. Esta es la razón principal que explica que el transporte neto de las dunas se produzca de NO a SE (o de OSO a ENE). Cabe añadir que este transporte es más significativo durante el verano, pues es cuando los vientos adquieren una mayor velocidad.

Además hay que tener en cuenta que para la dirección de los vientos la media calculada por el software *RoseNet* arroja un valor de 269,9° (O) en SAO y 299° (NO) en Viedma, lo cual indicaría un avance de las dunas hacia el E – SE, mientras que la media aritmética calculada de los valores totales de viento efectivo es 237° en SAO y 228° en Viedma, lo cual sugiere una migración hacia el NE – ENE, correspondiéndose en buena medida con los datos aportados por las tablas 7.9 y 7.10. Estas direcciones están de acuerdo con información brindada por trabajos de escala regional, donde se estudió que los vientos predominantes sobre la plataforma patagónica son del O durante todo el año e inducen una circulación media hacia el E – NNE en la capa superficial (Saavedra *et al.*, 2011; Pisoni, 2012).

Mes/hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Promedio
Enero	44	44	40	40	41	41	36	34	50	60	72	76	77	77	79	80	85	90	87	88	79	63	51	51	62
Febrero	40	39	41	45	36	36	35	35	42	62	70	73	73	74	74	82	80	80	81	76	65	56	52	46	58
Marzo	42	40	37	48	42	41	36	34	34	52	65	71	72	73	72	79	75	77	75	58	41	46	43	40	54
Abril	35	37	36	43	37	36	32	33	31	41	51	65	68	69	72	73	71	69	55	35	30	34	35	36	47
Mayo	35	37	37	46	38	36	35	35	31	39	40	53	60	67	67	69	66	58	35	29	28	37	33	36	44
Junio	42	41	42	49	42	41	28	29	29	41	43	53	61	66	70	70	67	56	37	32	36	39	39	39	46
Julio	41	39	40	49	40	39	44	47	44	39	42	55	66	71	72	73	71	62	41	32	33	39	37	38	48
Agosto	39	41	38	45	40	41	38	39	36	41	49	63	70	72	74	76	73	67	52	34	32	36	35	38	49
Septiembre	39	39	39	40	38	39	35	37	37	51	65	70	72	74	74	77	78	76	68	49	38	44	38	39	52
Octubre	38	38	36	40	38	36	33	31	44	63	68	72	75	75	75	80	80	81	76	64	43	43	40	37	54
Noviembre	35	37	37	40	36	34	32	39	58	71	73	75	76	77	78	81	82	83	80	72	57	54	39	37	58
Diciembre	40	40	38	43	37	41	36	43	63	75	75	75	78	81	82	84	82	86	83	79	72	60	45	39	62
Promedio	39	39	38	44	39	38	35	36	42	53	59	67	71	73	74	77	76	74	64	54	46	46	41	40	53

Tabla 7.9. Porcentajes mensuales y horarios de viento efectivo en Viedma.

Mes/hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Promedio
Enero	61	61	59	56	56	53	46	45	56	64	67	74	76	87	88	89	91	93	90	85	83	66	67	65	70
Febrero	60	57	52	52	54	51	43	43	50	62	69	71	75	81	84	85	88	89	85	86	76	60	62	63	67
Marzo	49	53	51	47	48	48	43	43	43	56	66	68	72	75	77	87	83	81	79	75	55	52	49	52	60
Abril	39	42	44	43	40	43	41	43	40	49	58	65	66	68	70	77	76	72	65	49	38	40	39	44	52
Mayo	42	39	44	43	40	43	38	37	39	42	47	56	64	62	66	71	64	58	45	36	36	36	35	37	47
Junio	46	46	47	44	49	49	42	44	45	54	53	59	64	67	68	68	65	59	43	40	44	33	46	47	51
Julio	52	49	55	53	51	49	47	49	48	52	49	60	67	68	69	75	69	62	48	43	40	44	50	48	54
Agosto	47	48	49	48	50	49	43	43	43	47	56	63	68	69	71	75	71	68	57	42	40	40	44	42	53
Septiembre	39	43	40	45	45	42	39	38	39	50	61	65	63	68	72	78	75	74	69	52	39	38	42	41	52
Octubre	48	46	43	40	39	35	36	37	46	61	62	67	72	77	78	86	84	83	79	71	55	48	45	45	58
Noviembre	52	49	49	42	41	42	38	40	52	65	65	70	78	81	86	91	89	87	86	81	70	59	55	51	63
Diciembre	62	59	53	49	50	48	44	46	64	74	67	73	80	83	86	98	90	88	86	85	78	71	62	65	69
Promedio	50	49	49	47	47	46	42	42	47	56	60	66	70	74	76	82	79	76	69	62	54	49	50	50	58

Tabla 7.10. Porcentajes mensuales y horarios de viento efectivo en SAO.

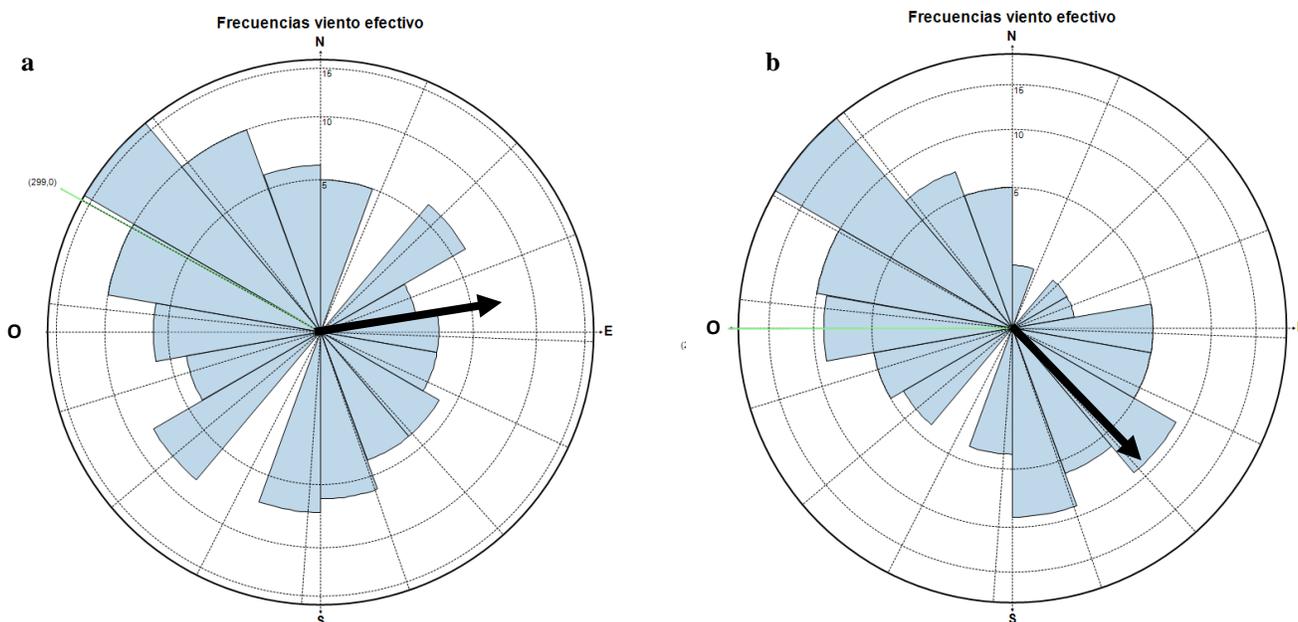


Figura 7.16. Frecuencias y direcciones de viento efectivo en Viedma (a) y SAO (b). Las flechas representan la dirección de migración de las dunas.

### 7.3.2 Migración dunas cercanas a las construcciones de Bahía Creek

Se realizó una comparación, a través de imágenes aéreas y satelitales, entre la ubicación de las dunas activas entre los años 1986 y 2011 (Fig. 7.17) en las cercanías a la localidad de Bahía Creek por su potencialidad de verse afectada por el avance de estas dunas. Luego de mapear su ubicación en los distintos años se calculó la distancia de avance y, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido, se obtuvo una tasa de avance de las dunas y el sentido en ese sector en particular. La tasa de avance promedio fue de 2,4 m/año en las cercanías a la población, con valores máximos superiores a los 10 m/año con sentido SE y en menor medida E (Fig. 7.17). Valores similares fueron obtenidos por Picone (2014) y López Alfonsín *et al.* (2012) con tasas de 6 m/año y 4 m/año respectivamente. Además, mediante fotografías, se compararon sectores puntuales visitados durante los viajes de campo entre octubre de 2016 y mayo de 2017, a los que se sumaron fotografías recolectadas en el lugar mediante la campaña de *Google Street* correspondiente a enero de 2014, donde también se puede ver cómo las dunas avanzan hacia las construcciones, salvo un caso particular donde realizaron labores de limpieza (Figs. 7.18 – 7.26).

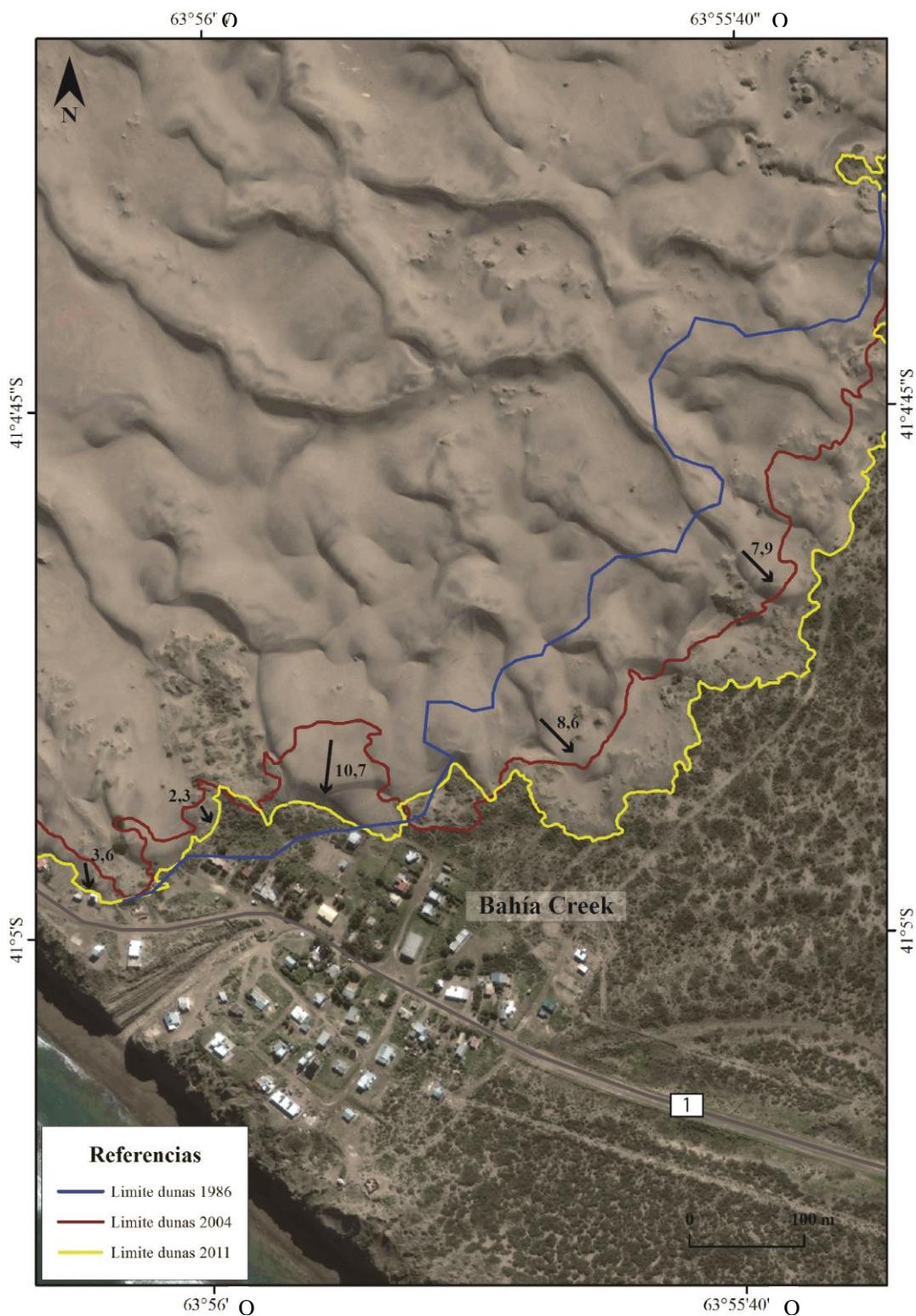


Figura 7.17. Ubicación del campo de dunas en las cercanías a Bahía Creek durante los años 1986 – 2011. Los vectores corresponden al sentido y tasa de avance de las dunas (en m/año), con énfasis en lo ocurrido entre los dos

últimos períodos ya que en la actualidad se sigue evidenciando desplazamiento en esos sentidos. Imagen original extraída de *Bing Maps*.



Figura 7.18. Fotografías tomadas desde la ruta provincial N°1. a: corresponde a *Google Street*, tomada en enero de 2014, b: tomada en octubre de 2016 y c: tomada en mayo de 2017. La dirección en que apunta la cámara es aproximadamente hacia el norte. Se puede ver un gran cambio entre 2014 y 2016, pasando de una cubierta vegetal, aparentemente puesta por los pobladores (a), detrás de las casas, a una acumulación notable de arena en 2016 (3m, b) que sigue creciendo hasta alcanzar un metro más aproximadamente (c). Como están las casas, este crecimiento se desarrolla fundamentalmente en la vertical, asimismo también se observa un pequeño avance horizontal.



Figura 7.19. Fotografías tomadas desde la ruta provincial N°1, a: corresponde a *Google Street*, tomada en enero de 2014, b: fue sacada en octubre de 2016 y c: en mayo de 2017. a apunta hacia el norte, b y c hacia el noroeste. Se puede ver como la duna avanzó hacia el este, comenzando a cubrir la casa en 2016 y avanzando sobre la misma en 2017.



Figura 7.20. Detalle de la misma casa de las fotografías anteriores (fig. 7.20) donde se puede observar como avanza la duna por el techo de la casa y cómo va cubriendo la puerta y la parte lateral entre los años 2016 (a) y 2017 (b). El crecimiento de la duna es tanto horizontal como vertical, más este último una vez que se topa con la construcción.



Figura 7.21. Fotografías tomadas en octubre de 2016 (a) y mayo de 2017 (b) apuntando aproximadamente hacia el NE donde se puede observar el avance de la duna hacia al sur y en consecuencia hacia la infraestructura urbana.

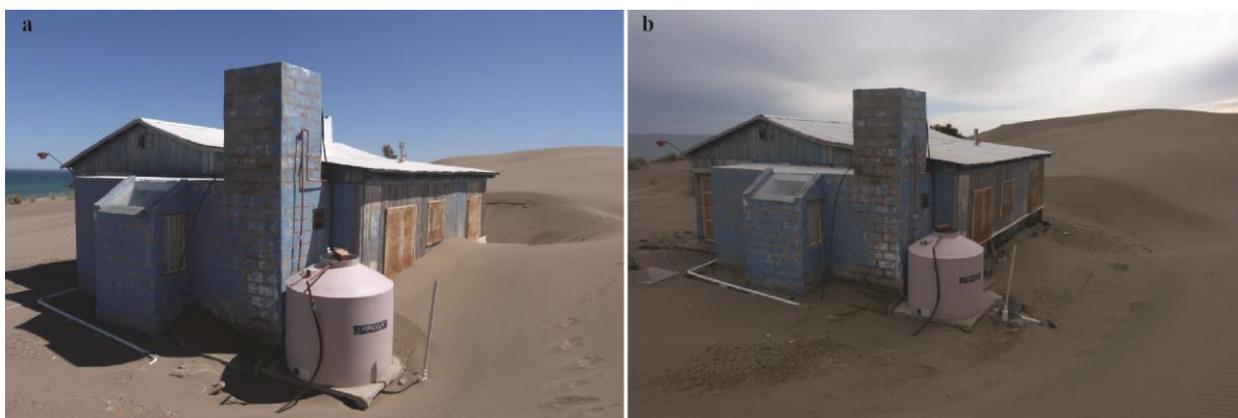


Figura 7.22. fotografías tomadas en octubre de 2016 (a) y mayo de 2017 (b) apuntando hacia el sudoeste. En este caso se observa una mayor acumulación de arena en octubre de 2016 (a), esto probablemente se deba a que realizaron una limpieza en la temporada de veraneo. De todas formas se aprecia que la acumulación de arena sigue el mismo patrón y es hacia el sur y hacia el este, como se puede observar mejor en la figura 7.27, donde no hay arena al lado de la casa.



Figura 7.23. Fotografías tomadas en octubre de 2016 (a) y mayo de 2017 (b) apuntando hacia el E y el O respectivamente. Aquí también se puede ver como la duna avanza hacia el sur, donde se ubica una casa.



Figura. 7.24. Fotografías tomadas en octubre de 2016 (a) y mayo de 2017 (b) apuntando hacia el O – NO y SO respectivamente. Aquí se aprecia como la estructura ya arrasada por las dunas en unos meses es cubierta totalmente. También se ve como esta duna avanza hacia la siguiente casa en dirección S – SE.



Figura 7.25. Fotografías tomadas desde la ruta provincial N°1, a corresponde a *Google Street*, tomada en enero de 2014, b fue sacada en mayo de 2017. Ambas apuntan hacia el NO y se observa como la duna avanza hacia las casa (sur) cubriendo la vegetación.



Figura 7.26. Fotografías tomadas desde la ruta provincial N°1, a corresponde a *Google Street*, tomada en enero de 2014, b fue sacada en mayo de 2017. En la imagen más antigua se ve una pantalla forestal, probablemente colocada por los pobladores, ausente en el presente. Además se aprecia la evolución de las dunas que migran hacia el E y hacia el S, acumulándose contra la casilla.

### **7.3.3 Discusión general**

Un rasgo común de la costa, tanto dentro como en las cercanías al área de estudio (Bahía Rosas y Bajo la Quinta) donde hay campos de dunas fósiles y activos, es que no hay acantilado y la topografía de la zona continental adyacente a la playa es lo suficientemente amplia y plana para permitir la mayor sedimentación arenosa posible (Fig. 7.27, 7.28). Estos son factores necesarios, entre otros, para que ocurra el fenómeno de generación de dunas (Sanjaume y Gracia, 2011). A su vez, la orientación de la costa (ONO – ESE) en relación a los vientos podría ser otro factor, ya que la dunas se desarrollan avanzando en la dirección que predomina el viento (OSO – ENE), es decir que los sedimentos disponibles en estos lugares aprovechan las corrientes de aire que los llevan hacia el continente para acumularse tierra adentro (Fig. 7.27, 7.28). Actualmente donde se desarrolla mayor cantidad de dunas activas es en Bahía Creek, probablemente porque se ubica a continuación de Caleta de los Loros, área que sirve como fuente de suministro de material para las mismas, además de lo que podría significar la playa como área de aporte. En cambio, Bahía Rosas y Bajo la Quinta, que solo cuentan con la playa como zona de aporte de material y no tienen en sus inmediaciones un área como la caleta, cuentan casi exclusivamente con dunas fósiles o estabilizadas, las que en su mayoría se clasifican como longitudinales y parabólicas.

En las cercanías de SAE puede apreciarse la parte final de un campo de dunas, donde las dunas longitudinales van cubriéndose con vegetación en el sentido de los vientos predominantes, de esta manera parecería que se dificulta el transporte de arena hacia la parte más distal. Esto sumado a una disminución de sedimentos en el área de aporte podría hacer que se establezca el sistema de dunas. Un evento de similares características podría haber ocurrido en Bahía Creek, llegando a un momento de estabilización del campo de dunas al que posteriormente, con nuevo aporte de material desde la caleta y la playa, se generó un nuevo campo de dunas activo. Además, la topografía y características del terreno posteriores al campo de dunas fósil, podrían estar influenciado la ubicación y desarrollo del campo de dunas activo.

También es importante resaltar que las construcciones de Bahía Creek frenan el avance del viento y el transporte que este realiza, por eso en el sector ubicado detrás de las casas (mirando desde la costa) va a transportar más material del normal el viento proveniente del O y NO, acelerando el avance de las dunas sobre las construcciones. De esta forma se ve como la

actividad humana y las construcciones que han realizado tienen influencia en el desarrollo de las dunas.



Figura 7.27. Campos de dunas fósiles y activos en el área de estudio y sus cercanías. Imagen original extraída de Google Earth.



Figura 7.28. Zoom de los campos de dunas fósiles o estabilizadas de Bajo la Quinta (a) y Bahía Rosas (b). Imagen original extraídas de Bing Maps.

## 8 ORDENAMIENTO TERRITORIAL

A modo de introducción al ordenamiento territorial se pueden citar unas líneas escritas por el Dr. Hans Fox Timming: *“Un Instrumento reconocido que realiza diagnósticos locales o regionales y que propone escenarios futuros deseables para que el territorio antrópico no quiebre el proceso evolutivo del territorio natural [...]”*. *“Los procesos de Ordenamiento Territorial no son de carácter científico sino más bien valóricos, pero la ciencia nos permite estudiar los sistemas naturales y humanos entendiendo las causas y las consecuencias y proponer formas de conciliación de las transformaciones territoriales antrópicas con la protección socioambiental”*.

Así, el ordenamiento territorial es un instrumento de gestión que permite definir áreas del territorio que se destinarán a distintos usos, en concordancia con los diferentes intereses y necesidades de la sociedad, procurando también la conservación del ambiente. Dentro del presente trabajo surge por el anhelo del Gobierno Municipal de Viedma en desarrollar la localidad balnearia de Bahía Creek, la cual supone un nuevo lugar turístico para quienes buscan alternativas a otras localidades costeras de la zona como Las Grutas y El Cóndor. Se trata de un área excelente para desarrollar un turismo centrado en la tranquilidad y belleza de sus paisajes. Al comenzar su desarrollo prácticamente desde cero, brinda la posibilidad de hacerlo de la manera más ordenada y planificada posible, para alterar lo más mínimo los ecosistemas y su dinámica. Por lo tanto en este capítulo se buscará abordar la temática, determinando zonas con distinto grado de vulnerabilidad, delimitando áreas en las cuales es y no es recomendable el asentamiento poblacional.

Entonces, entendiendo el ordenamiento territorial, junto con los resultados obtenidos en los capítulos precedentes y buscando un adecuado manejo costero relacionado a las actividades antrópicas en relación al peligro y al desarrollo turístico, se logró realizar un mapa que contiene diversas zonas reservadas para el desarrollo de actividades particulares. Las mismas se detallan a continuación y resultan imprescindibles para el adecuado ordenamiento, ya que a menudo no pueden realizarse todas las acciones en la misma área. Para esta división también se tuvo en cuenta la vulnerabilidad o peligro de cada zona, considerando peligros alto, medio y bajo. El

primero se corresponde con las zonas de dunas móviles y una franja de 100 metros hacia el sector donde migran; también con la caleta y con el acantilado activo, contemplando una franja de 100 metros hacia el continente desde su cima y 10 – 15 metros hacia el mar desde su base. El peligro medio está representado por las zonas de dunas fijas o vegetadas no incluidas dentro de alto peligro, los sectores que rodean la caleta y la playa no inmediatamente bajo los acantilados. Finalmente el bajo peligro corresponde al área de la antigua planicie aluvial.

Esta división se realizó así debido a que los sectores con mayor peligro son los que pueden verse afectados en el corto plazo, ya sea en la inmediatez por un desprendimiento dentro del acantilado o por el avance de dunas en el lapso de meses o unos pocos años.

Peligro medio son zonas donde no es ideal construir por cómo es el terreno pero se caracterizan por tener mayor estabilidad a lo largo de los años.

Bajo peligro es la zona más estable, donde no va a haber prácticamente modificaciones al menos en unos 100 años.

De esta manera pudieron calcularse más atinadamente las zonas detalladas a continuación.

*Zona intangible:* máxima restricción de uso. Sólo se admite el uso científico o educativo regulado, no admitiéndose actividades destructivas o deteriorantes, ni la construcción de infraestructura o asentamientos humanos, tanto por el cambio que generan en la dinámica del sistema, como por el daño que pueden sufrir personas y bienes. Se corresponde esencialmente con las áreas de Reserva Natural Estricta, dedicadas a la conservación, aunque incluye también algunos sectores adicionales donde es prudente asegurar mínimos niveles de alteración y usos <sup>1</sup>.

En general estas zonas se caracterizan por su gran fragilidad ambiental (Plunkett y Gastaminza, 2002; Orlandi *et al.*, 2011).

Dentro del caso de estudio se corresponde con la reserva de Caleta de los Loros, las zonas próximas a los acantilados, particularmente donde hay dunas colgadas, y los sectores con dunas móviles (coincidiendo en gran medida con los sectores de alto peligro, Fig. 8.1). Es así que se debe evitar remover o extraer, alterar o desmontar estas dunas.

*Zona de uso público extensivo:* admite el uso científico, educativo y turístico – recreativo de tipo extensivo, es decir no masivo ni concentrado, con el fin de conservar el medio natural con un mínimo de impacto humano. La infraestructura de servicios permitida incluye sendas,

accesos, campamentos agrestes, asentamientos para personal de control y ciertos servicios públicos. Con las precauciones necesarias también se trata de una zona de esparcimiento<sup>1</sup>. Tanto en esta zona como en la siguiente, previo a desarrollar una actividad, debe realizarse un estudio de Impacto Ambiental según la Ley provincial 3266 (Plunkett y Gastaminza, 2002).

A esta zona corresponde toda la playa no inmediata a los acantilados (10 – 15 metros), las zonas que bordean a la caleta por fuera de la zona intangible, y la mayoría de dunas vegetadas (Fig. 8.1). Se podrían desarrollar zonas de estacionamiento tanto en la playa como arriba del acantilado pero no cerca de su borde (a unos 100 metros), así como también algún pequeño puesto de abastecimiento de tipo balneario o casillas relacionadas a alguna actividad recreativa o deportiva poco dañina, *sandboard* por ej., en algún sector especialmente delimitado del campo de dunas.

*Zona de uso público intensivo:* además de las actividades mencionadas anteriormente, admite el uso turístico – recreativo de tipo intensivo y esparcimiento con alta concentración de visitantes e instalación de infraestructura de servicios tipo hoteles, hosterías, restaurantes, campings, comerciales, deportivas, etc. Asimismo se debe procurar la armonización de estas actividades con el ambiente<sup>2</sup>. Las limitaciones a las actividades están dadas por la normativa vigente, más allá que estas sean menores (Plunkett y Gastaminza, 2002). A su vez, dentro de las distintas posibles ocupaciones de esta área, será tarea de especialistas definir qué sector es idóneo para utilizarse como zona residencial (asentamientos humanos intensivos, de usos relacionados con la residencia permanente), zona residencial extraurbana (asentamientos no intensivos de usos relacionados con la residencia no permanente, emplazada en pleno contacto con la naturaleza), zona comercial y administrativa (destinada a usos relacionados con la actividad gubernamental y terciaria) o zona industrial. Sin embargo por las características del área turística se prevé que no haya una zona industrial, al menos en las primeras etapas de expansión. La misma deberá tener

---

<sup>1</sup> Las fuentes utilizadas corresponden al Parque Nacional Los Glaciares y las leyes 8912/77 y 10907 de la provincia de Buenos Aires.

<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-8912.html>

<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-10907.html>

<http://www.losglaciares.com/es/parque/zonifica.html#2>

requisitos y controles mayores que el resto de las zonas y deberá concentrar sus actividades en determinados puntos, evitando su dispersión (Plunkett y Gastaminza, 2002).

Por lo tanto se considera que esta zona puede desarrollarse fundamentalmente en la antigua planicie aluvial (Fig. 8.1). Dentro de los objetivos del trabajo, en esta zona se podrían construir las casas de la villa balnearia junto con las demás instalaciones y edificios que requieran<sup>2</sup>.

*Zona de aprovechamiento de recursos naturales:* además de los usos anteriores, es factible la realización de actividades productivas. En ellas debe garantizarse el uso sostenido de los recursos. La misma no podrá ubicarse dentro de zonas intangibles o de uso público extensivo.

Corresponden a esta zona algunos sitios de interduna donde se desarrolla la actividad ganadera fundamentalmente, que si bien puede estar en peligro por la migración de las dunas, de momento es el sustento de algunos pobladores y una posible solución podría plantearse a partir de un estudio más amplio que el presente, con mayor contenido social y llevado a cabo por especialistas. Asimismo el sector correspondiente a la antigua planicie aluvial se puede aprovechar como campo<sup>2</sup>.

También dentro del marco de la legislación se definen las zonas de reserva para ensanche urbano, zonas de recuperación (en la actualidad no es apta para usos urbanos, resulta recuperable mediante obras o acciones adecuadas) y zona de usos específicos (transporte terrestre, marítimo o fluvial y aéreo; comunicaciones; producción o transmisión de energía; defensa; seguridad y otros usos específicos)<sup>2</sup>.

En el área de estudio quedaría por delimitar un sector para los residuos sólidos urbanos que podría ubicarse en canteras ya explotadas y teniendo en cuenta el sentido de avance de las dunas.

---

<sup>2</sup> Las fuentes utilizadas corresponden al Parque Nacional Los Glaciares y las leyes 8912/77 y 10907 de la provincia de Buenos Aires.

<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-8912.html>

<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-10907.html>

<http://www.losglaciares.com/es/parque/zonifica.html#2>

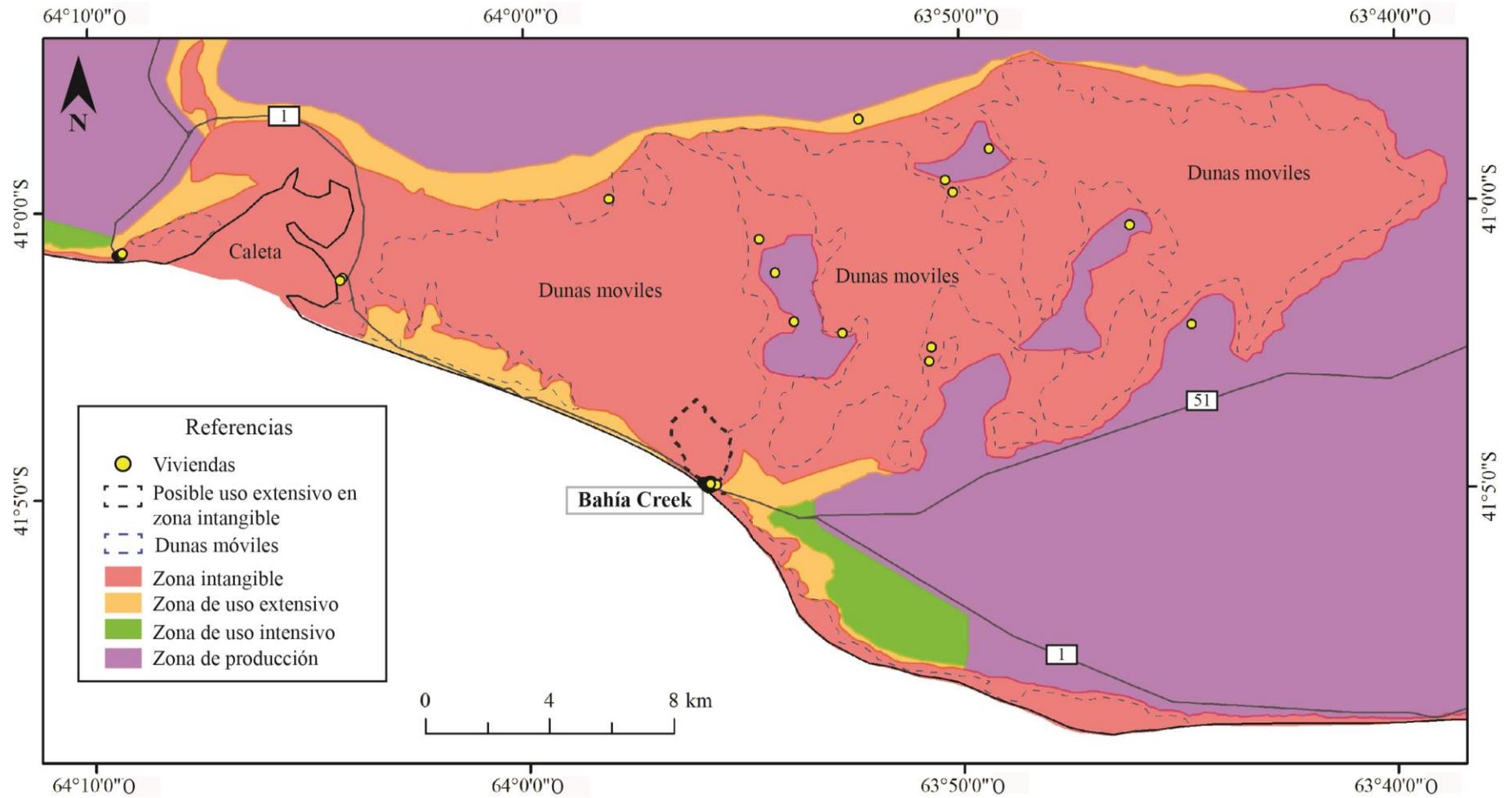


Figura 8.1. Zonificación según uso de tierras. El *posible uso extensivo en zona intangible* se refiere al uso de vehículos recreativos que causan grandes daños a las dunas, teniendo en cuenta un área de fácil acceso, sin tener que adentrarse demasiado en el campo de dunas y dañando lo menos posible el ecosistema, además de ser una zona con escasa o nula vegetación y alejada de las viviendas que se encuentran en la zona de interduna.

### *Otras recomendaciones a tener en cuenta*

A continuación se irán mencionando distintas problemáticas que pueden surgir a partir del asentamiento humano en la zona costera y cómo abordarlas, poniendo énfasis en las características locales de Bahía Creek, teniendo en cuenta los principales conflictos y problemáticas ambientales detectados en el litoral de Río Negro. Estas acciones humanas impactan sobre el medio físico, intensificando la acción erosiva, y ello se evidencia principalmente en el retroceso de la línea de costa y en la pérdida del volumen de arena que compone la playa.

Explotación de arena en zonas de playa: se recomienda no efectuar extracción de arena de playa, ya que impacta directamente en el ambiente costero aumentando el retroceso de la línea de costa y degradando la playa debido a la pérdida de efectividad en su función de protección contra las olas de tormenta (Hatterley y Foster, 1968; Marcomini y Lopez, 1999; Hesp y Walker, 2013). Esto se aplica al sector de costa baja ubicado entre Bahía Creek y Caleta de los Loros.

Como alternativa se sugiere realizar la extracción de áridos del campo de dunas inactivo, alejado del sector litoral, siempre de acuerdo a la normativa vigente. De esta forma se evita interferir en los procesos de erosión – sedimentación en la costa (Marcomini y López, 1999; del Río *et al.*, 2004).

Construcción de estructuras marinas: se debe analizar y controlar la construcción de estructuras marinas con una visión integral y tomando en cuenta el transporte de sedimentos costeros (Hesp y Walker, 2013).

En el caso particular de la zona de estudio, que al momento no cuenta con este tipo de obras, es recomendable que no sean realizadas nunca y que se busquen los mejores sitios, mencionados al principio del capítulo, para construir futuras edificaciones, sin que afecten la dinámica litoral.

Urbanización costanera: el trazado de avenidas costaneras también genera erosión directa a través de pérdidas de sedimento en las playas y transformaciones que reducen su estabilidad a corto plazo, y la edificación en sectores cercanos a la playa genera erosión indirecta (Gracia, 2002; Marcomini *et al.*, 2007). Esto hace que sea necesario el control del crecimiento urbano,

con énfasis en la clara reglamentación de las habilitaciones de nuevos loteos (Plunkett y Gastaminza, 2002).

Por este motivo es recomendable que las avenidas costaneras y construcciones no estén a una distancia menor a 100 – 200 m del borde del acantilado (Marcomini y López, 1999; Plunkett y Gastaminza, 2002; Marcomini *et al.*, 2007), ya que así tendrían una vida mayor y estarían mejor resguardadas frente a fenómenos extraordinarios (Fig. 8.2). A su vez, según Gracia (2002), tampoco se recomienda construir en las zonas bajas más expuestas, como lo es en este caso la zona comprendida entre Bahía Creek y Caleta de los Loros, ya que hay que tener en cuenta que los temporales costeros pueden provocar un ascenso del nivel del mar, varios metros por encima de la pleamar más alta registrada en condiciones normales.

Dunas móviles: para planificar el desarrollo urbano de la villa de Bahía Creek se deberá tener en cuenta que se debe evitar construir en zona de dunas móviles ya que avanzan en promedio 2,4 m/año con máximos de 10 m/año en cercanías al pueblo. Asimismo las dunas embrionarias y delanteras deberían mantenerse intactas para retener el agua de lluvia incrementando la infiltración en la interfase agua dulce – agua salada para impedir el desplazamiento al continente de la cuña salina (Marcomini *et al.*, 2007), el cual también puede ocurrir por la sobreexplotación de acuíferos costeros (Gracia, 2002) o por la mala gestión de áreas bajo riego (Plunkett y Gastaminza, 2002).

Naturalmente la duna costera se halla desprovista de vegetación o presenta matas aisladas. El hombre en ciertos lugares ha introducido especies arbustivas como el tamarisco. Esta introducción produce en algunos sectores costeros la pérdida de movilidad de las dunas, con la consecuente interrupción de las condiciones de transporte natural entre estos dos subambientes, incrementando las condiciones erosivas (Marcomini *et al.*, 2007).

Entonces no se debe destruir la cubierta de vegetación que protege y estabiliza a las dunas ya que produce pérdidas de sedimento en las playas y transformaciones que reducen su estabilidad a corto plazo, así como tampoco se deben estabilizar las dunas con especies exóticas (Marcomini *et al.*, 2007). Más bien se debe explicar al visitante y a los pobladores su importancia, procurando la protección de los ecosistemas naturales, así como también de los recursos antropológicos y paleontológicos (Gracia, 2002; Plunkett y Gastaminza, 2002; Hesp y Walker, 2013,).

Acceso a las playas: se debe asegurar que todo desarrollo turístico o urbano cuente con accesos públicos a las playas, así como servicios (señalización, sanitarios, estacionamientos, basureros). Si estos accesos llegaran a ser a través de sistemas de dunas (como podría ser en la costa baja entra Bahía Creek y Caleta de los Loros), deberán consistir en pasarelas de madera que eviten que se dañe la vegetación en caso de que hubiera (Hesp y Walker, 2013). En cambio, si los accesos son mediante bajadas a través del acantilado como en Bahía Creek, donde los usuarios vivencian como problemas fundamentales su pendiente, el encauzamiento de aguas meteóricas, su inestabilidad e inseguridad, se deberán tener en cuenta distintos factores para hacerla más segura.

Es importante considerar que la bajada de Bahía Creek, es una de las que posee mayor riesgo de caída de bloques (del Río *et al.*, 2004) y que como está dispuesta perpendicularmente a la costa y tiene un alto gradiente de pendiente, se ve aumentada la velocidad de escurrimiento superficial y por lo tanto su poder erosivo.

Por lo tanto, según del Río *et al.* (2004) se recomienda que las bajadas se construyan a semejanza de la segunda bajada del Faro (Picoto). Deben comenzar paralelas a la costa para que se les pueda dar mayor recorrido y menor pendiente y deben estar lo suficientemente retiradas del acantilado como para dar lugar a curvas amplias en su culminación. También deberán estar pavimentadas y con buen diseño de drenes. El perfil de los laterales deberá ser construido en forma escalonada (bermas) para favorecer su estabilidad y disminuir su erosión. Los escalones horizontales de estos perfiles deberán ser vegetados para su protección o se deberán construir encauzadores de hormigón que disipen la energía de la escorrentía pluvial. La parte distal de las bajadas deberá concluir con una terraza sobre la costa, protegida por un rompeolas al pie y con escaleras y una bajada lateral protegida por gaviones.

Adicionalmente es necesario generar un sector protegido, libre de caída de bloques bajo el acantilado para el uso de los veraneantes y los sitios de estacionamiento deben ser diseñados y emplazados tratando de minimizar la pérdida de vegetación natural, la escorrentía superficial y la pérdida de sedimento en las playas ya que reducen su estabilidad en el corto plazo (Gracia, 2002; del Río *et al.*, 2004; Marcomini *et al.*, 2007; Hesp y Walker, 2013).

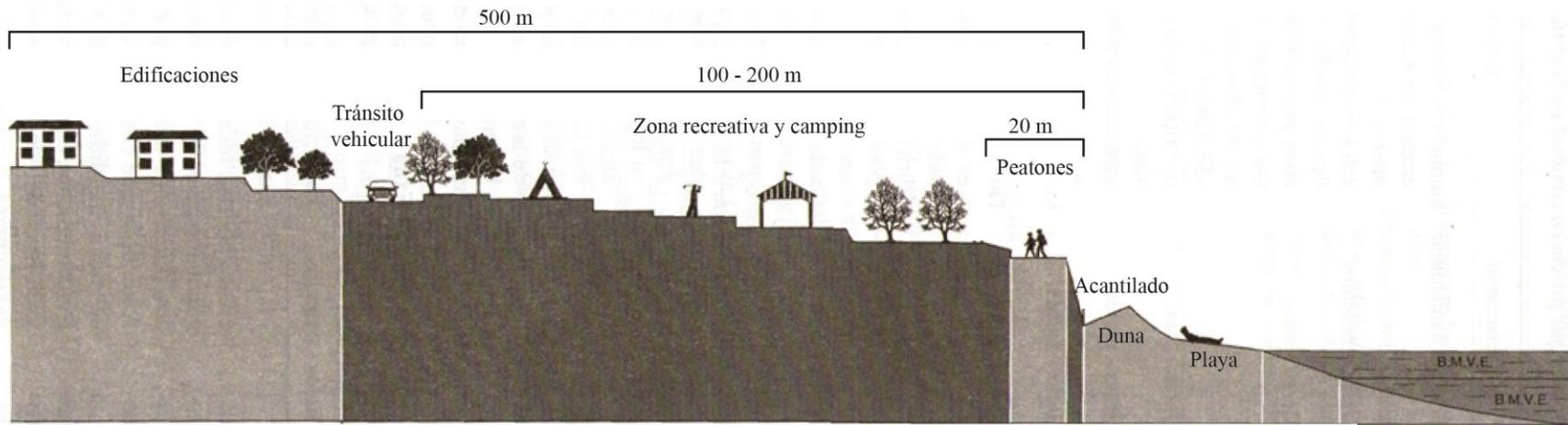


Figura 8.2. Esquema de dónde podrían ubicarse las primeras calles y construcciones con respecto a la línea de costa. Modificado de Gracia (2002). Aunque en el área de estudio no siempre están presentes las dunas como aquí se muestran el esquema sigue siendo válido.

En Bahía Creek, construir una bajada adecuada es imposible por falta de espacio. Como alternativa se podría acomodar la ya existente pavimentándola, drenándola y reperfilando sus laterales, tarea que resulta difícil por su posición perpendicular al acantilado, escasa longitud y elevada pendiente que van a dificultar su mantenimiento.

Entonces se propone dejar la bajada actual para el uso peatonal, con canaletas o con cierta contención en los laterales, en forma escalonada y que estas bermas estén vegetadas. Mientras que se podría acceder en vehículos a la playa en la costa baja, ubicada a poca distancia del poblado y allí podría delimitarse un estacionamiento con las características mencionadas (dentro de la zona de uso público extensivo, Fig. 8.1).

Aguas pluviales, servidas y residuos: los diseños urbanos con calles perpendiculares a la costa que terminan en el mar modifican sustancialmente la morfología costera introduciendo canales de desagüe artificiales luego de fuertes tormentas que terminan en la playa. Esto incrementa notablemente con la impermeabilización producto de la urbanización y la forestación. Sin este desarrollo, el agua de las precipitaciones infiltra directamente en el acuífero y el excedente queda retenido en los bajos interdunales (Marcomini *et al.*, 2007). Por este motivo es recomendable realizar un pertinente trazado de las calles con adecuadas vías de escurrimiento.

También los asentamientos urbanos en acantilados pueden producir alteraciones en su estabilidad, desencadenando o acelerando los procesos de dinámica gravitacional. Las filtraciones de agua a partir de cañerías, redes de alcantarillado y desagües pluviales producen un aumento del agua intersticial de la roca, facilitando el movimiento de bloques, desplomes y deslizamientos en acantilados de material blando (arcillas, arenas) (Gracia, 2002). Para esta problemática se recomienda un adecuado sistema de desagües o cloacas que viertan los desechos en un lugar adecuado. De no ser posible este sistema por falta de recursos o por no contar todavía con un número de población que lo amerite, lo mejor sería que cada casa cuente con un lecho nitrificante, reduciendo la posibilidad de contaminación del acuífero superior, el cual tiene flujo hacia el mar (López Alfonsín *et al.*, 2012). Esto debe estar acompañado de la reglamentación del depósito en las costas de residuos y vertidos contaminantes (Plunkett y Gastaminza, 2002). Estos residuos deben ser depositados en un área particular, a una distancia prudencial de la zona

urbanizada y sobre celdas impermeabilizadas, considerando las características geológicas y la alta permeabilidad del sustrato (López Alfonsín *et al.*, 2012).

## 9. CONCLUSIONES

A partir de la confección del mapa geomorfológico se pudo determinar que los rasgos más importantes en el área de estudio son las dunas, el acantilado con sus remociones en masa y la caleta. Los dos primeros son de suma importancia para este trabajo por estar involucrados en el peligro geológico de Bahía Creek. Dentro de los acantilados, a través del perfil realizado en la bajada a la playa, se identificó que pertenecen casi en su totalidad a la Formación Rio Negro, seguido en los últimos metros por la Formación Tehuelche. En cuanto a las dunas, hay dos grandes grupos, las fijas y las móviles. Dentro de las fijas predominan las longitudinales y en horquilla y dentro de las dunas móviles, hay desde barjanes hasta transversales, estrella, longitudinales, embrionarias y frontales y las relacionadas a los acantilados (eco, ascendentes, descendentes y colgadas); a su vez la mayoría son compuestas o complejas.

Los granos que componen el material de playa y dunas se caracterizan por poseer una distribución unimodal, valores de tendencia central cercanos a 2 en la escala *phi*, lo cual indica que se trata de arenas finas o medias, donde predominan las muy bien o bien seleccionadas, muy leptocúrticas o extremadamente leptocúrticas. Estos valores son típicos de ambientes costeros con dunas. Asimismo, algunas de estas muestras fueron clasificadas como litoarenita feldespática o feldarenita lítica, provenientes originalmente de ambientes de arco disectado y arco transicional respectivamente. Sus relaciones indican que pertenecen al mismo sistema y el material se transporta a través de este. Además, si bien es esperable que el material vaya del acantilado a la playa y luego a las dunas, no es el único proceso influyente, sino que también se mezcla con material aportado por la caleta, con características distintas al acantilado.

Dentro del acantilado se calculó un índice de vulnerabilidad, el cual resultó ser bajo en los tres sectores estudiados, con un valor ligeramente mayor en el sector B, correspondiente a la zona edificada. Por lo tanto, si bien la localidad no ejerce una gran influencia por el incipiente grado de desarrollo, el asentamiento humano hace que estos valores sean mínimamente más elevados. A su vez, dentro de las variables más influyentes en este índice dentro del área de estudio se pueden mencionar la pendiente del acantilado y sus estructuras.

El peligro de las dunas viene asociado al rápido desplazamiento que pueden tener en el tiempo. En las cercanías a Bahía Creek la tasa de avance desde 1986 a 2011 ha sido de 2,4 m/año, con máximos de 10 m/año, con sentido SE – ENE, es decir hacia las edificaciones,

agravado en los últimos años por la mayor construcción de casas que impiden o disminuyen las posibilidades de transporte del viento SE. Este desarrollo del campo de dunas también es posible por características propias del sitio como ausencia de acantilado, orientación de la costa, fuerte suministro de material, transporte litoral libre, precipitaciones moderadas, escasa humedad atmosférica, playas de poca pendiente y amplio rango de marea.

Finalmente con la caracterización del área y el estudio del peligro geológico en ella, se definieron zonas aptas y no aptas para el asentamiento humano. Por lo tanto la nueva propuesta de ordenamiento territorial para la edificación en el presente trabajo propone un nuevo lugar, ubicado en la zona de uso intensivo por la estabilidad que presenta, limitando el daño que podría causar el retroceso del acantilado o la migración de las dunas, pero sin dejar de buscar un lugar cercano a la playa y a los caminos, así como también al poblado existente, solamente a 2 km de distancia. También se busca la mejor combinación entre un lugar turístico placentero y seguro frente a los fenómenos naturales más comunes y dañinos en la zona de estudio, representados por la zona intangible. Asimismo no se pretende desalojar lo antiguo, sino concientizar y resguardarlo frente a estos riesgos y tener la mayor y mejor comunicación posible con lo nuevo, permitiendo desarrollar así, de manera sustentable, el potencial turístico de la costa de Río Negro, específicamente en Bahía Creek. En esta nueva ubicación también hay que tener en cuenta qué terrenos todavía no tienen dueño y en ese caso realizar su correcto loteo.

Queda determinar a futuro qué va suceder con estas viviendas que se encuentran dentro de la zona intangible. Si simplemente a partir de ahora se comenzará a edificar en una zona más apropiada, dejando las construcciones que ya están como tal, o si se van a hacer estudios más detallados para conocer si las propiedades están en peligro en un futuro cercano. En ese caso, resta saber si se tomarán medidas para su resguardo, como podría ser una pantalla forestal para frenar el avance de las dunas (aunque no es lo más recomendable puede resultar efectiva para algunos sitios en particular) o alguna obra ingenieril con respecto al acantilado o si se irá decidiendo con el correr del tiempo a través de la dinámica del sistema.

A los fines de superar los faltantes de información y el seguimiento temporal de los procesos mencionadas en este trabajo, se recomienda un programa de monitoreo donde puedan intervenir y participar distintas reparticiones del Estado provincial. Este debería contemplar relevamientos de perfiles de playas en los sectores vinculados a las bajadas, retroceso de la línea de costa, procesos de remoción en masa, avance de dunas y comunicación del riesgo; además de contar

con cartelería adecuada para la conservación de la naturaleza y advertir los posibles peligros, junto con un sistema de alerta y vías de evacuación. También se podría llevar a cabo un muestreo más intenso, con las secciones delgadas correspondientes, adentrándose más en el continente y obteniendo mayor cantidad de muestras de dunas, así como también de la playa, para conocer mejor aún la dinámica del sistema, además de la realización de estudios geotécnicos en el acantilado.

### **Agradecimientos**

A los Doctores Maisa Tunik y Fernando Archuby por brindar su tiempo, conocimiento y experiencia en cuanto a lo referido al análisis petrográfico y la estadística para la realización del análisis textural de los sedimentos respectivamente. A Juan Ison por tomarse el trabajo de realizar las láminas delgadas de las muestras estudiadas al microscopio. A Lucas Lothari por acompañarme en la salida de campo, colaborando con las labores y brindando su punto de vista geológico en lo referido al presente trabajo.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Alberdi, M. T., Bonadonna, F. P. y Ortiz Jaureguizar, E. 1997. Chronological correlation, paleoecology, and paleobiogeography of the late Cenozoic South American Rionegran land – mammal fauna: a review. *Revista Española de Paleontología*, 12 (2): 249 – 255.

Andreis, R.R. 1965. Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro (tramo General Conesa – boca del Río Negro). *Revista del Museo de La Plata*, V, Geología 36: 245 – 310.

Angulo, R., Fidalgo, M.A., Gómez Peral, M. y Schnack, E.J. 1978. Geología y geomorfología del bajo de San Antonio y alrededores, Provincia de Río Negro. *Centro de Investigaciones Científicas de la Provincia de Río Negro*. Estudios y documentos vol. 8, 32 p.

Benavente Pizarro, N. E. 2015. *Relaciones dinámicas asociadas al litoral – playa – dunas anteriores del campo de dunas de Los Choros, región de Coquimbo*. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 81 p.

Bértola, G. R. y Cortizo, L. C. 2005. Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (1): 174 – 184.

Codignotto, J. 1997. Geomorfología y dinámica costera. *El mar argentino y sus recursos pesqueros*, 1: 89 – 105.

Cruzate, G. A., López, C., Ayesa, J. y Panigatti, J. L. 2006. *Suelos y Ambientes, Río Negro – Argentina*. INTA.

Del Río, J.L., Álvarez, J., López de Armentia, A., Bó, M.J., Martínez, J., y Camino, M. 2004. *Estudio y desarrollo metodológico para la determinación de la velocidad de retroceso de la costa entre Punta Mejillón y el Balneario El Cóndor, Provincia de Río Negro*. Viedma, Argentina: Dirección de minería de la provincia de Río Negro, Reporte Técnico, 88p.

Del Río, J. L., López de Armentia, A. M., Álvarez, J. R., Ferro, G., Bó, M. J., Martínez Arca, J. y Camino, M. 2007. Shoreline Retreat at The Gulf San Matias, Argentina. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 23 (2): 43 – 51.

Del Río, L. y Gracia, F. J. 2007. Análisis de la vulnerabilidad de los acantilados atlánticos de la provincia de Cádiz ante la erosión costera. *Cuaternario y Geomorfología*, 21 (1): 87 – 101.

Del Río, L. y Gracia, F. J. 2009. Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112 (1 – 2): 82 – 95.

Del Valle, R. A., Tatur, A. y Rinaldi, C. A. 2007. Cambios en lagos y circulación fluvial vinculados al calentamiento climático del Pleistoceno tardío – Holoceno temprano en Patagonia

e Isla 25 de Mayo, islas Shetland del Sur, Antártida. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62 (4): 618 – 626.

Dickinson, W. R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Research*, 40 (2): 695 – 707.

Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F. y Ryberg, P. T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94 (2): 222 – 235.

Fabregat, E. H. 2015. El Proceso de Construcción Territorial en el Área de Bahía Creek. *Geosaberes*, 6 (1): 192 – 208.

Fernández, E., Caló, J., Marcos, A. y Aldacour, H. 2003. Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de Monte Hermoso, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 10 (2): 151 – 161.

Flor, G., Marquínez, J. L. y O'Neill, A. C. 1983. *El complejo de dunas eólicas de la playa de Frouxeira (Meirás – Valdoviño, La Coruña)*, 33 p.

Folk, R. L. y Ward, W. C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27 (1): 3 – 26.

Folk, R. L., Andrews, P. B. y Lewis, D. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand journal of geology and geophysics*, 13 (4): 937 – 968.

Friedman, G. M. 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Research*, 31 (4): 514 – 529.

Fucks, E., Scalise, A. H y Schnack, E. J. 2011. *Evaluación de alternativas para la conservación y manejo del frente costero en Las Grutas*. Consejo Federal de Inversiones, Buenos Aires, 81 p.

García, V. y Casadío, S. 2012. *Zonificación de la peligrosidad geológica del Área Natural Protegida “Reserva Faunística Punta Bermeja”, provincia de Río Negro*. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, UNRN, 31 p.

Gelós, E., Spagnuolo, J. y Lizasoain, G. 1988. Mineralogía y caracterización granulométrica de sedimentos actuales de la plataforma argentina entre los paralelos 39 y 43 de latitud Sur y del Golfo San Matías. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63: 63 – 79.

Gelós, E., Spagnuolo, J. y Schillizzi, R. 1990. Caracteres texturales y mineralógicos de sedimentos de playa de la costa norte del golfo San Matías. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 21(1/4): 41 – 52.

Gelós, E. M., Schillizzi, R. A. y Spagnuolo, J. O. 1992. El Cenozoico de la costa norte del Golfo San Matías, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47 (2): 135 – 140.

Giaccardi, M. y Tagliorette, A. 2007. Efectividad de manejo y situación actual de las áreas protegidas marino – costeras de la Argentina. En: O. Padín, L. Benzaquen, S. Sverlij, J. M. Musmeci, G. Caille y R. Delfino Shenke (eds.), *Taller Regional sobre Humedales Costeros Patagónicos*. Buenos Aires, p. 18 – 23.

González Díaz, E. F. y Malagnino, E. C. 1984. *Geomorfología de la provincia de Río Negro*. IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, 159 p.

Gracia, F. J. 2002. La franja litoral: riesgos y protección. En: F. J., Ayala – Carcedo y J., Olcina Cantos (eds.), *Riesgos naturales*. Barcelona, p. 1023 – 1058.

Gutiérrez Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Pearson Educación, Madrid, 920 p.

Hattersley, R. T. y Foster, D. N. 1968. Problems of beach erosion and some solutions. *Australian Civil Engineering*, 9.

Hesp, P.A. y Walker, I.J. 2013. Coastal Dunes. En: J. F., Shroder (ed.), *Treatise on Geomorphology*. San Diego, 11, p. 328 – 355.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), 2010. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*.

Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., y Sares, S. W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi – Dickinson point – counting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54 (1): 103 – 116.

Kokot, R. R., Codignotto, J. O. y Elissondo, M. 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (3): 477 – 487.

Kokot, R. 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.

Komar, P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice – Hall, New Jersey, 429 p.

Kostadinoff, J. 1992. Estudio geofísico de la Península de Valdés y los golfos nordpatagónicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47 (2): 229 – 236.

Lanfredi, N.W., D'Onofrio, E.E. y Mazio C.A. 1988. Variations of the mean sea level in the southwest Atlantic Ocean. *Continental Shelf Research*, 8 (11): 1211 – 1220.

Lanfredi N.W., Pousa J.L. y D'Onofrio, E.E. 1998. Sea – level rise and related potential hazards on the Argentine coast. *Journal of Coastal Research*, 14 (1): 47 – 60.

Lara, S. y González, L. F. 2006. Las eolianitas de Punta El Chaure en la costa noroccidental de la Península de Paraguaná, Edo. Falcón, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, 57, 149 – 158.

Livingstone, I. y Warren, A. 1996. *Aeolian geomorphology: an introduction*. Longman.

López Alfonsín, R., Coccia, M. E., Fauqué, L. E., Castaños, C. y Olvar, N. M. 2012. *Estudio para el ordenamiento territorial de la Orla Atlántica Rionegrina. Desde La Lobería a Bahía Creek*. Consejo Federal de Inversiones, Buenos Aires, 108 p.

Lucas, A. J., Guerrero, R. A., Mianzan, H. W., Acha, E. M. y Lasta, C. A. 2005. Coastal oceanographic regimes of the northern Argentine continental shelf (34–43 S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65 (3): 405 – 420.

Marcomini, S. C. y López, R. A. 1999. Alteración de la dinámica costera por efecto de la explotación de arena de playa, partidos de General Alvarado y Lobería, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 6 (1 – 2): 1 – 18.

Marcomini, S. C., López, R. A., y Spinoglio, A. 2007. Uso de la morfología costera como geoindicador de susceptibilidad a la erosión en costas cohesivas, Necochea, Buenos Aires. *Revista de la asociación geológica argentina*, 62 (3): 396 – 404.

Marcos, M. A. y Mancini, M. V. 2012. Comunidades vegetales de la costa norte del Golfo San Matías, Río Negro, Argentina. *Ecología austral*, 22(3): 188 – 194.

Máyer Suárez, P., Pérez – Chacón Espino, E., Cruz Averó, N. y Hernández Calvento, L. 2012. Características del viento en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, islas Canarias, España). *Nimbus*, 29 – 30: 381 – 397.

McKee, E. D. 1979. *A study of global sand seas*. US Govt. Print. Off., 429 p.

McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Research*, 51(2).

Metz, R. 1985. The importance of maintaining horizontal sieve screens when using a Ro – Tap. *Sedimentology*, 32(4): 613 – 614.

Olivares, G. 2000. *Aspectos hidrogeológicos: Área Pozo Salado – Bahía Creek*. Informe interno Departamento Provincial de Aguas, Viedma.

Orlandi, A. F., Albertoli, J., Bacaro, A., Costa, C., Muzio, C., Panero, M. A. y Valeo, L. A. 2011. *Políticas, instrumentos y proyectos para el ordenamiento territorial de San Carlos de Bariloche*. San Carlos de Bariloche, 129 p.

Palma, E. D., Matano, R. P. y Piola, A. R. 2004. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109 (8).

Passega, R. y Byramjee, R. 1969. Grain – size image of clastic deposits. *Sedimentology*, 13(3 – 4): 233 – 252.

Picone, S. E. 2014. *El Proceso Socio – natural en las Aguadas (Río Negro): un Estudio del Paisaje*. Instituto de Investigación en Políticas Públicas y Gobierno Universidad Nacional de Río Negro – Sede Atlántica, 55 p.

Pisoni, J. P. 2012. *Los sistemas frontales y la circulación en las inmediaciones de los Golfos Norpatagónicos*. Disertación Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 197 p.

Plunkett, S. y Gastaminza, O. 2002. Plan de ordenación territorial preliminar. Litoral del Río Negro, Argentina. *Revista Proyección* N° 3, Mendoza.

Powers, M. C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23: 117 – 119.

Reichler, V. A. 2010. Estratigrafía y paleontología del Cenozoico marino del Gran Bajo y Salinas del Gualicho, Argentina, y descripción de 17 especies nuevas. *Andean geology*, 37(1): 177 – 219.

Román – Sierra, J., Muñoz – Perez, J. J. y Navarro – Pons, M. 2013. Influence of sieving time on the efficiency and accuracy of grain – size analysis of beach and dune sands. *Sedimentology*, 60 (6): 1484 – 1497.

Saavedra, M., Calvo, M. y Jiménez, C. 2011. Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física*, 14 (01).

Sanjaume, E. y Gracia, F. J. 2011. *Las dunas de España*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, 747 p.

Scasso, R. A. y Limarino, C. O. 1997. *Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas*. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial 1, Buenos Aires, 259 p.

Schillizzi, R., Gelos, E. M. y Spagnuolo, J. 2004. Procesos de retracción de los acantilados patagónicos entre la desembocadura de los ríos Negro y Chubut. *Asociación Argentina de Sedimentología*, La Plata, vol. 11, N° 1: 17 – 26.

Sepúlveda, E. G. 1983. Descripción Geológica de la Hoja 38I, Gran Bajo del Gualicho, Provincia de Río Negro. *Boletín Serv. Geol. Nac.*, 194: 1 – 61.

Tripaldi, A., Limarino, C. O., Caselli, A. T., Net, L. I. y Gagliardo, M. L. 1998. Sedimentología de arenas eólicas cuaternarias del área de Lomas de la Estancia, provincia de La

Rioja (Argentina): un ejemplo de sedimentación en campos de dunas intermontanas. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 5 (1): 21 – 40.

Tripaldi, A. 2002. Sedimentología y evolución del campo de dunas de Médanos Grandes (provincia de San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 9 (1): 65 – 82.

Vergara Dal Pont, I. P. 2015. *Dinámica costera y análisis del riesgo geológico asociado en la desembocadura del río Negro, provincias de Buenos Aires y Río Negro*. Trabajo final de Licenciatura, UNRN, 105 p.

Wadhawan, S. K. 1996. Textural attributes of recent aeolian deposits in different sub-basins of the Thar Desert, India. *Journal of Arid Environments*, 32 (1): 59 – 74.

Zavala, C., Abrameto A., Azúa G., Freije H., Inchentronn Ch. y Ponce J. 2000. Estratigrafía de los acantilados marinos de la zona de El Cóndor – Bahía Rosa (Formación Río Negro, Mioceno – Plioceno). Provincia de Río Negro. *II Congreso Latinoamericano de Sedimentología*, Resúmenes p. 186 – 187.

Zavala, C. y Freije, H., 2005. Geología de los acantilados. En: Maser, R., Lew, J., y Serra Peirano, G. (eds.), *Las mesetas patagónicas que caen al mar: la costa rionegrina*. Viedma, Argentina: Gobierno de Río Negro, p. 187–197.

\*Datos Banco mundial tasa de crecimiento de población.

\*Datos del servicio meteorológico de las estaciones de SAO y Viedma.

\*Servicio de hidrografía Naval, 2011.