



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Geografía

Memoria para optar al Título de Geógrafo.

ESTRUCTURA Y DINAMICA DEL SISTEMA DUNAR DE LONGOTOMA

BARBARA ANDREA VELOSO DE LOS RIOS

Profesor guía: José Araya Vergara.

Santiago, Chile.
Octubre, 2005

RESUMEN

Se estudia la morfología del sistema dunar de Longotoma y los pulsos formativos correspondientes. Se trabajó con la fotointerpretación, análisis de terreno y laboratorio. Estas dunas presentan un patrón general tipo aklé y se asocian a la familia anterior – parabólica. En su formación se observan cinco pulsos. Los más antiguos presentan en sí las formas más evolucionadas dentro del *continuum dunar* (dunas longitudinales), mientras los pulsos intermedios se componen de formas parabólicas en claro proceso de *secundarización*. Los tres primeros son resultado de períodos de acreción. El cuarto es generado por una relocalización de sedimentos. En el quinto en cambio se detecta sumación nueva de masa. Existe una relación directa entre la antigüedad de los pulsos y la presencia de vegetación y ripples marks. Por sus propiedades se determina que las arenas que han abastecido al sistema tienen un origen esencialmente andino y relativamente re TRABAJADAS por el oleaje. Se concluye que el sistema tiene carácter polifásico, o sea, los pulsos representan diferentes asociaciones de tipos de dunas. Por lo tanto se determina que el sistema es altamente frágil debido a su dinamismo. Por lo cual se recomienda una zonificación adecuada dentro del marco legal aplicable para lograr la preservación de este campo dunar a causa de su alto valor geomorfológico, arqueológico y ecológico.

Palabras clave: *Sistema dunar, pulsos dunares, patrón aklé, secundarización, estabilidad dunar, protección dunar.*

INDICE

INTRODUCCION	1
Estado del asunto	1
<i>Morfología de ergs y masas dunares litorales</i>	1
<i>Sistema dunar de Longotoma</i>	4
Problemática	5
Propósito	6
Hipótesis	6
MATERIALES Y METODOS	8
Área de estudio	8
<i>Características físicas y humanas</i>	8
<i>Particularidades climáticas</i>	8
<i>Características hidrológicas</i>	8
<i>Localidades pobladas</i>	9
<i>Depósitos arqueológicos</i>	10
<i>Uso actual de suelo</i>	10
Procedimientos	12
<i>Clasificación: Secuencias y familias</i>	12
<i>Observación de gabinete</i>	14
<i>Observación de terreno laboratorio</i>	15
RESULTADOS	16
Formas costeras no dunares	16
<i>Terraza costera alta</i>	16
<i>Terraza costera baja</i>	17
<i>Acantilado inactivo degradado</i>	19
Formas litorales no dunares	19
<i>Playa</i>	19
<i>Flecha arenosa</i>	20
Formas estuariales	20
<i>Bancos</i>	20
<i>Terraza fluvial antigua</i>	21
<i>Terraza estuarial</i>	22
Análisis y distribución de mares de dunas	25
<i>Campo de Dunas Norte</i>	25
<i>Pulso1</i>	25
Dunas antiguas indeterminadas	25
<i>Pulso2</i>	27
Dunas parabólicas de onda corta	27
Dunas lineales longitudinales	29
<i>Pulso3</i>	30
Dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes	30
<i>Pulso4</i>	31

Dunas parabólicas coalescentes	31
Dunas upsiloidales alargadas	32
Dunas transgresivas	32
<i>Pulso5</i>	33
Anteduna	34
Dunas parabólicas	36
Dunas upsiloidales vegetacionadas	37
Dunas en patrón aklé	37
Dunas con patrón aklé y rasgos upsiloidales	39
Barjanes coalescentes	39
Barjanes aislados y dunas anidadas	40
<i>Campo de Dunas Sur</i>	43
<i>Pulso1</i>	43
Dunas longitudinales antiguas	43
<i>Pulso2</i>	43
Dunas parabólicas medias	44
<i>Pulso3</i>	44
Dunas con patrón aklé y rasgos upsiloidales	45
<i>Pulso5</i>	46
Dunas en patrón aklé	46
Barjanes coalescentes	48
Características de las arenas	51
Relación anteduna – sistema dunar	56
DISCUSION	58
Emplazamiento de los pulsos dunares y las influencias topográficas en su desarrollo	58
Acerca del origen de las formas	61
Análisis morfométrico y granulométrico	63
Grados de estabilidad	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
Conclusiones	66
Antecedentes legales	67
<i>Normativa existente</i>	67
<i>Superposición de la información</i>	72
Recomendaciones	73
AGRADECIMENTOS	75
REFERENCIAS	76

INTRODUCCION

Estado del asunto

Morfología de Ergs y masas dunares litorales

El estudio de la morfología dunar y los sistemas de *ergs*, su estructura y las causas de su distribución en el espacio, ha sido centro de atención de variados autores. A través de los años, este conocimiento ha proporcionado mas aportes para el entendimiento de los sistemas dunares complejos. Entre los primeros estudios relacionados directamente con el análisis de estos sistemas se encuentran aquellos de un nivel más descriptivo, pero que aportan conocimientos útiles y antecedentes de sistemas dunares homólogos, al sistema dunar de Longotoma, en otros lugares del mundo. En este sentido, **Cooper (1958)**, estudia las dunas de Oregon y Washington, primeramente dando una reseña acerca de los factores climáticos del área, para después concentrarse en la interacción de los factores productores de las formas y procesos dunares. Como consecuencia de esta interacción determina dos patrones dunares principales, las crestas transversales y oblicuas. Además considera el factor vegetación asociándolo al concepto de *estabilización* dunar, mientras describe detalladamente más de treinta sistemas dunares. Finalmente determina la existencia de distintos *episodios de avance*, causados por la alternancia de periodos de estabilización y actividad vigorosa, además de hacer una distinción entre dunas *estables* y *activas*. Posteriormente **Cooper (1967)**, hace un análisis exhaustivo de algunos sistemas dunares ubicados en la costa de California, basándose en su estudio anterior, donde relaciona la similitud de las formas (en su mayoría parabólicas), con la dirección del viento efectivo. También determina la existencia de distintas olas de invasión de sedimento, que concluyentemente llama "*episodios*". En relación con la diferenciación temporal, **Battistini (1964)** se refiere a las formas dunares elementales estableciendo una diferenciación temporal entre ellas (activas, antiguas y recientes) relacionando su alimentación con la existencia de ambientes fluviales (desembocaduras de río, deltas, lagunas). **Illeberger y Rust (1988)** estudian el campo dunar de Alexandria (Sudafrica), refiriéndose principalmente a la alimentación del campo dunar y a la mecánica del transporte de arenas, concluyendo que este último decrece en rango al incrementarse la distancia desde el mar, donde también desciende la velocidad del viento por el roce con la superficie. También concluye que los rangos de depositación a nivel costero son diez veces más altos que aquellos experimentados por los campos de dunas continentales, siendo esto resultante del abastecimiento directo desde las playas, además de la alta energía de los vientos costeros. También este autor, **Illeberger (1988)**, describe con detalle este campo dunar, determinando la predominancia de las formas parabólicas, principalmente el patrón aklé. **Lancaster (1992)**, aborda las relaciones entre distintas generaciones dunares en el Gran Desierto de México, además determina que las múltiples generaciones o unidades genéticas dunares se caracterizan por su morfología particular, el tamaño y clasificación de los granos de arena y el grado de alteración post-

deposicional de los sedimentos. Además deduce que la acumulación episódica de las dunas es una respuesta a los cambios climáticos y eustáticos. Concluye que existen dos modos de acumulación de arenas 1) apilación o superposición de generaciones dunares 2) mosaicos de acumulación de dunas de unidades morfológicas distintas, donde la primera de estas formas está restringida a un alto abastecimiento de arena o bien a condiciones topográficas y la segunda, a bajos aportes de arenas. **Tastet y Pontee (1998)** analizan las dunas costeras de Médoc, determinando la existencia de cuatro generaciones dunares, basándose en su morfología que se caracteriza principalmente por sus formas barjánicas y parabólicas. **Kuzucuoglu et al (1998)** estudian los sistemas dunares basándose en las características sedimentológicas, geomorfológicas y dinámicas, mientras concluyen que la movilidad dunar no se relaciona de manera directa con los cambios climáticos. Posteriormente, **Gay (1999)** se aboca al estudio del origen, distribución y movimiento de las arenas en Perú, trata la interacción entre dunas individuales y la formación de dunas compuestas, además de re-analizar la estructuración de cinturones barjánicos, basándose en lo expuesto por **Bagnold (1941)**. **Bristow et al (2000)** en su estudio del desarrollo de antedunas en costas progradadas, sugieren que el desenvolvimiento de la cresta dunar está íntimamente ligado a los cambios en la línea de costa. Además presentan un nuevo modelo de “Evolución dunar costera” que ilustra los varios estados del desarrollo dunar en respuesta a la evolución de la playa y el abastecimiento de arena. También centrado en el mismo tema, **Hesp (2002)** estudia el origen, la morfología y la dinámica relacionada con la anteduna y los *blow outs*. Se refiere además a la evolución de las “antedunas incipientes” y “antedunas estables” y su relación con los rangos de progradación, tipo y cobertura de vegetación, umbrales de transporte de sedimentos y escalas de procesos erosionales. Clasifica las antedunas estables en cinco tipos que denomina tipos morfoecológicos. **Wang et al (2002)** estudian las dunas del desierto de Taklimakan, determinando la existencia de tres tipos de dunas, 1) compuestas / complejas crecientes y cadenas crecientes 2) dunas en domo compuestas y 3) dunas lineales compuestas complejas, estas últimas producto de un régimen de viento bimodal. Finalmente, **Tsoar et al (2002)** investiga la formación de dunas parabólicas a partir de formas barjánicas y dunas transversales en la costa mediterránea de Israel, concluyendo que la vegetación y la acción antrópica pueden llevar a una alteración en la dinámica natural de las dunas, induciendo procesos de cambios de formas en estos sistemas.

Por otro lado a nivel nacional son muchos los estudios realizados. **Fuenzalida (1956)** hace una reseña de las dunas litorales en Chile recalcando también las condiciones necesarias para el desarrollo y evolución de sistemas dunares. Los estudios más específicos y de mayor consistencia se realizaron años después, por lo que se nombran a continuación los de mayor relevancia para la realización del presente estudio. Entre ellos, **Araya - Vergara (1979)** hace referencia en su artículo a los fenómenos de marejadas, relacionando estos con la evolución de las costas y su repercusión en la morfología costera. En el caso específico de la morfología dunar se determina que la incidencia de *bravezas* provoca un cambio (y un retroceso) en las formas elementales más cercanas a la

playa, con su consecuente reconstrucción, procesos que se pueden apreciar en el caso de el sistema dunar de Longotoma. Posteriormente **Araya - Vergara (1981)**, estudia las diferentes estructuras de los sistemas de delta en ría en Chile, introduciendo en su artículo la noción de *transmudación*, además de incluir en estos sistemas los fenómenos relacionados al ambiente estuarial. Estas conclusiones son de vital importancia en la realización de esta investigación debido a la relación presente entre el estuario Petorca – La Ligua y el campo de dunas adyacente. Mientras un año después, se analizan las formas y procesos predominantes de la línea litoral chilena, describiendo algunos lugares de interés científico, incluyendo sistemas dunares de Chile Central. En **Araya – Vergara (1983)** el estudio se centra en las líneas de costa entre Topocalma y Pichilemu, siendo objeto de estudio la relación entre la asimetría, curvatura y orientación de las playas con el ataque del oleaje, determinando que ciertas estructuras dunares estaban asociadas a dichas características, donde hace también distinción entre las dunas primarias y secundarias. En este mismo ámbito **Araya – Vergara (1984)** elabora una clasificación dunar basándose en la clasificación de **Davies (1977)**, donde el autor define categorías de cambio determinadas por el grado de permanencia o cambio de las formas. Los cambios estudiados en los sistemas dunares son el objeto de estudio en **Araya – Vergara (1987)**, quién da origen a diversas categorías de cambio dunar basados en la transformación de ciertas formas dunares por factores de proximidad entre ellas, velocidad y energía del viento, y la existencia de vegetación. Finalmente se valida la teoría de *transmudación* a través de la observación de sistemas dunares costeros en Chile central. Posteriormente (**Araya – Vergara, 1989**) se hace una distinción a nivel temporal entre unidades dunares que comparten un mismo espacio geográfico, en este artículo se clasifican las dunas basándose en parámetros de diferenciación como tipo de cobertura vegetal, desarrollo de suelos, índice de desgaste y naturaleza de los sedimentos, mediante lo cual se obtienen las siguientes diferenciaciones: dunas antiguas, medias y actuales. En **Araya – Vergara (1996)**, se aboca al estudio de los sistemas de Chanco y Arauco, analizando sus principales diferencias, siendo objeto principal del estudio la comparación entre ambos sistemas, investigando para ello el sistema de interacción oleaje-playa expresado en la zona de rompientes, considerándola como indicador esencial del abastecimiento de arena. Según **Araya –Vergara (2001, comunicación personal)** existen distintas categorías de dunas que se basan principalmente en los cambios de forma por redistribución de masa y que pertenecen a *continuum dunares*. Esto se puede aplicar al estudio del origen y los procesos existentes en los sistemas dunares. Finalmente **Araya – Vergara (2001)** determina la existencia de distintos pulsos formativos, determinados por varios factores entre ellos la forma de asociación entre sí, tanto como su espaciamiento y orientación, además de las propiedades morfoscópicas y mineralógicas de sus arenas. La metodología para el estudio de la morfología de estos *ergs*, la interacción con las condiciones topográficas pre-existentes, y la determinación de los pulsos formativos correspondientes, se utilizará como base para el análisis del sistema dunar de Longotoma.

Sistema dunar de Longotoma

Este sistema ha sido objeto de estudio de varios autores, **Paskoff (1970)** se refiere a este campo dunar en una caracterización geomorfológica de la zona costera de la Bahía de La Ligua, enmarcado en el análisis de la génesis, evolución y formas actuales del Norte chico. Además considera las características vegetacionales de manera general, pero aplicable al área de estudio. Este autor hace una descripción del área de una forma más bien general, de manera que su funcionalidad radica en que satisface la necesidad de contar con un conocimiento general para empezar un estudio de mayor profundidad. También **Pomar (1962)**, menciona el área de estudio, pero la perspectiva de su trabajo no esta abocada a la descripción del sistema dunar sino a la descripción general de la desembocadura de los ríos Petorca y La Ligua, no tomando en consideración las formas asociadas a ella. En cuanto al estado de conservación de sistemas dunares. **Castro (1984)** se refiere a una serie de sistemas homólogos de importancia en Chile y su *sensibilidad* a las intervenciones antrópicas, concluyendo que la erosión, la pérdida de cobertura vegetal y la reactivación de unidades dunares estabilizadas son las consecuencias directas de un mal uso de estos sistemas. Entre los sistemas analizados menciona el sistema dunar de Longotoma valorando su importancia como sitio de interés científico, por su geomorfología, valor ecológico y arqueológico. En **Castro (1999 ; 2001)** las unidades dunarias de mayor antigüedad son objeto de un análisis de fragilidad, dirigido no solamente a las acciones antrópicas, sino más bien a las condiciones naturales que presentan tales unidades y sus usos de suelo. Concluye que los indicadores geomorfológicos y su evaluación son de gran utilidad para la planificación costera.

Existen pocos estudios abocados a las características específicas del sector, de manera detallada. **Canales (1991)**, determina unidades dunares del sistema en asociación a las distintas entidades vegetacionales existentes. Finalmente, **Orrego (1996)**, se dirige principalmente a la determinación de áreas de interés turístico, mediante un análisis que determina sitios de protección, de conservación y de probable emplazamiento de actividades e infraestructura de tipo turística, pero que aporta antecedentes generales de cierta importancia para la elaboración de este estudio.

Problemática

Actualmente, en la región de Valparaíso, existe una gran presión de parte de la demanda inmobiliaria para la ocupación de espacios de valor paisajístico y natural. La gran afluencia de turistas en la época de verano atrajo a una serie de inversiones, junto con serios problemas relacionados al ordenamiento territorial en especial en los espacios costeros. Los sistemas dunares se han convertido en reservorios para posibles extensiones urbanas o emplazamientos turísticos. Por esta razón el estudio y entendimiento de estos sistemas es de vital importancia, si se pretende su conservación, debido a que se emplazan en un ambiente único donde convergen el mar y el continente, en el cual se definen y desarrollan procesos naturales dinámicos, pero a la vez en conjunto con la actividad humana y su consecuente acción sobre este espacio.

Varios autores han mencionado la importancia de la conservación de los sistemas dunares no sólo para el equilibrio ecológico sino también para la complementación del conocimiento científico. **Araya - Vergara (1997)** menciona la importancia de estos como “referencias naturales y culturales” para la reconstrucción y análisis de las secuencias de paisajes de distinta edad que contienen en sí los principales testimonios de la historia del paisaje natural, al igual que su importancia para el estudio de otros sistemas homólogos en el mundo. Esta aseveración define la importancia de todos los elementos que interactúan en la singularidad de cada sistema, razón por la cual éstos no debieran ser alterados de ninguna manera. En la misma temática, **Paskoff (1997)** hace alusión a los efectos de la acción antrópica en los sistemas litorales, destacando la necesidad efectuar un manejo adecuado en el borde costero que implica el conocimiento previo de los elementos y sistemas naturales que se presentan en él. Así mismo, **Castro (1999)** menciona la necesidad de valorizar los sistemas litorales, tanto por el interés científico, como por las evidencias de degradación dunaria por efecto de la acción antrópica y recalca que los planes de ocupación del litoral y especialmente las prácticas de manejo en dunas, deben considerar el conocimiento de las características naturales y la dinámica de las mismas, antes de la ejecución de cualquier acción.

Actualmente en Chile, la política nacional de uso del borde costero considera la zona costera como un espacio que conforma una unidad geográfica, que constituye en sí misma un *recurso limitado*, al que confluyen múltiples usos, en algunos casos exclusivos y excluyentes, y en otros compatibles entre sí. En general, la normativa existente relacionada con la planificación territorial, según **Andrade (1996)**, tiene grandes vacíos y sus instrumentos están más abocados al orden de los espacios urbanos y no a los espacios costeros que se encuentran más aislados de las urbes. En el caso de la Región de Valparaíso, las zonas costeras están incluidas dentro de un plan intercomunal que asigna usos a este territorio, los cuales a veces son incompatibles con la dinámica natural de cada área. Es el caso del sistema dunar de Longotoma sobre el cual, según el Plan Intercomunal, se extienden dos tipos de Areas de Extensión Urbana que permiten

la parcelación del campo dunar hasta el límite de la playa fiscal en predios de 1000 y 5000m². Por esta razón es importante el estudio de los elementos naturales presentes en el área y el conocimiento detallado del sistema ante esta ocupación, que puede llevar a la degradación del campo dunario o a una alteración total del sistema provocando un desequilibrio natural.

Por esta razón el conocimiento de los sistemas naturales y, en este caso específico, los sistemas dunares y su dinámica, es de vital importancia en el establecimiento de asignaciones y usos de suelo por parte de las autoridades regionales y locales, del mismo modo para el resguardo de los recursos naturales y su preservación para el futuro y el desarrollo del conocimiento científico.

Propósito

Esta investigación pretende especificar el conocimiento geomorfológico de este sistema dunar, conocer su genesis y la morfología detallada de los elementos que lo componen, y definir la interacción entre ellos. Además se busca indicar el valor escénico y científico de los sistemas dunares, frente a eventuales usos de la tierra. Para esto se aborda el tema considerando como variable fundamental la dinámica del sistema donde existe relación directa entre las distintas unidades geomorfológicas y el resto del paisaje, como también distintos grados de actividad en las distintas partes del sistema que merecen ser profundizadas.

Cabe mencionar que la importancia del estudio de este sistema radica en la escasa intervención antrópica lo que le otorga cualidades especiales al tiempo de compararlo con otros sistemas homólogos para la generación de nuevos conocimientos.

Hipótesis

Las asunciones para el establecimiento de la hipótesis de este estudio son basadas en lo expuesto por **Illeberger (1988)**, **Kuzukuoglu et al (1998)** y **Araya – Vergara (2001)**. Estos autores encontraron la existencia de distintas generaciones o pulsos dunares, que se diferencian entre si a partir de características vegetacionales y sedimentológicas. Si en estos sistemas estudiados se presentan diferencias morfológicas, que pueden ser causa de distintos pulsos (diferenciados también temporalmente), entonces es posible encontrar esta característica en el campo dunar de Longotoma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

El sistema dunar de Longotoma se localiza entre los $32^{\circ}21'$ y los $32^{\circ}25'$ S y $71^{\circ}26'$ W. Este sistema forma parte de la Bahía de La Ligua, de la comuna de La Ligua, Quinta Región de Valparaíso. El área de estudio comprende una franja litoral de, aproximadamente, 7 Km. de largo y 3 km. de ancho, desde su limite Norte, Punta Guallarauco, a su limite Sur desembocadura del Río La Ligua. (Ver Fig. 1 y 2)

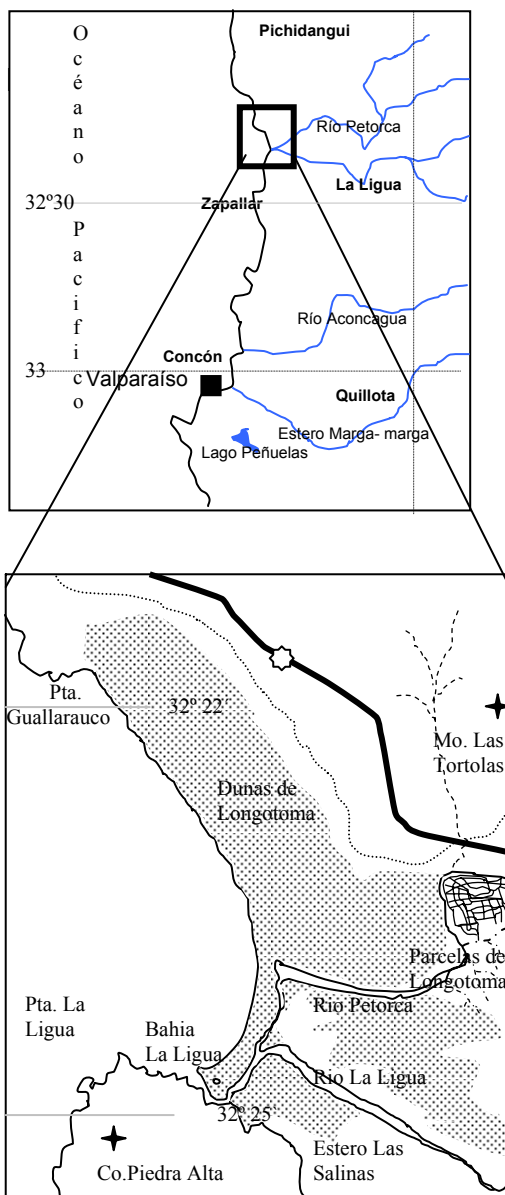


Fig.1: Area de Estudio.

Características físicas y humanas

Particularidades climáticas

Existe poca información específica acerca del clima del área de estudio, debido a la falta de datos, además de la inexistencia de estaciones meteorológicas cercanas al campo dunar. Sin embargo se puede tener una visión general a partir de lo descrito por **Paskoff (1970)**. Los factores climáticos influyentes son principalmente las condiciones de precipitación, tanto de cantidad como de distribución estacional, la oscilación térmica, la humedad relativa, la dirección y velocidad del viento, los que condicionan el desarrollo de los sistemas dunarios como la vegetación que habita en ellos.

El área de estudio se caracteriza por ser un lugar de transición entre el clima estepárico del Norte Chico y el clima templado cálido propio de Chile central. El clima propio del área de estudio presenta características particulares, por esta razón **Paskoff (1970)** lo considera como clima semiárido litoral. Este se extiende sobre la franja costera y penetra tierra adentro a través de los valles.

Las temperaturas se caracterizan por presentar una amplitud térmica moderada, libre de heladas, con un promedio anual de 14,2° C relacionadas a la influencia oceánica el sector.

Las precipitaciones se concentran mayormente en los meses de invierno (Mayo, Junio, Julio y Agosto) donde se percibe cerca del 85% de las precipitaciones totales anuales. En la estación seca prácticamente no se reciben precipitaciones, aún cuando se pueden presentar irregularidades climáticas que producen fuertes lluvias en los meses de verano. La precipitación que se presenta normalmente apenas alcanza los 300 a 350 mm anuales como monto máximo.

El área de estudio recibe la influencia directa de la corriente de Humboldt lo que ocasiona la existencia de nubosidad matutina gran parte del año, presentándose durante todo el año, pero alcanzando su máximo en los meses de verano.

En cuanto a los vientos, su dirección es principalmente SW, sin embargo esta dirección parece modificarse de acuerdo a la época del año. La dirección predominante se presenta en la época de verano con una intensidad promedio de 6m/s, mientras en invierno la dirección es NE – N y presenta una intensidad de 2m/s (**Canales, 1991**). Es importante mencionar que el viento juega un papel preponderante dentro del área de estudio, ya que no solamente transporta los materiales arenosos hacia el interior, sino también modifica su dirección sobre el campo dunar debido a la morfología presente y por esta razón se presentan unidades dunares con distintas orientaciones dentro del sistema.

Características hidrológicas

El área de estudio se encuentra inserta dentro de un sistema hídrico compuesto por dos pequeñas cuencas, la del Río Petorca y el Río La Ligua, las que se unen poco antes de desembocar en el mar, al igual que el Estero Las Salinas, en un sistema fluvio-estuarial compartido. Por esta razón algunas veces se les considera como una sola cuenca al presentar esta condición y compartir además napas freáticas que operan con un nivel de base común.

La hoya hidrográfica del río Petorca se ubica entre los 32°01' y los 32°26' S, esto la ubica en el límite Norte de la quinta región. La hoya hidrográfica del Río Petorca posee un área aproximada de 1.986 km². Posee una extensión de 112 kilómetros y tiene en su curso superior una dirección E-O que se mantiene de manera regular por una longitud de aproximadamente 40 kilómetros. Describe un curso irregular hasta su desembocadura en la Bahía de La Ligua. El río Petorca se considera como de régimen nivo-pluvial y presenta gastos mayores a fines de Invierno y Primavera, presentando pronunciados estiajes en verano, lo que permite la formación de un banco de arena que cambia su curso normal hacia su desembocadura y produce que el río cambie de dirección hacia el Sur, uniéndose al cauce del río La Ligua, a diferencia de la temporada invernal donde el río se divide, fluyendo parte de su caudal directamente al mar y otra parte de él se dirige al Sur, situación común en verano.

La hoya del río La Ligua se ubica aproximadamente entre los 32°13' y los 32° 37' S, específicamente entre las hoyas de los ríos Petorca y Aconcagua. La superficie total de su cuenca alcanza los 1.940 km². Este río se origina en la Cordillera de los Andes a 4.080 m.s.n.m. En su primer tramo, de aproximadamente 33 km., el río posee una marcada orientación este-oeste. En su recorrido recibe los aportes varios esteros. Las precipitaciones medias en la parte baja y media de la cuenca son del orden de los 300 a 350 mm por año, mientras en las zonas altas se produce un paulatino aumento con la altura, llegando a valores de 700 mm por año. El río La Ligua posee un régimen nivo-pluvial ligado directamente a las precipitaciones invernales.

Localidades Pobladas

Cerca del área de estudio se localizan Las Parcelas de Longotoma, ubicada en la ribera este del río Petorca, al margen occidental de la Carretera Panamericana Norte, detrás del sistema dunar de Longotoma. Se trata de una localidad, que cabe en la categoría de "Aldea". Posee una población de 604 habitantes dedicados fundamentalmente al cultivo de flores y papas (**Orrego, 1996**).

Depósitos arqueológicos

Las primeras investigaciones arqueológicas en el sector costero de la comuna de La Ligua fueron realizadas por **Avalos y Rodríguez (1991)**, estudio que permitió descubrir cerca de 190 sitios de interés arqueológico hasta el año 1997.

Específicamente en el sector de las dunas de Longotoma se han descubierto 74 sitios de interés arqueológico, en los que se distinguen tres tipos de depósitos culturales de la Tradición cultural Bato: Conchales superficiales extensos, conchales monticulares y de duna fósil.

Uso actual de suelo (Orrego, 1996)

Dentro del área de estudio se pueden determinar los siguientes usos:

Agrícola: Se establece principalmente en la localidad de Las Parcelas de Longotoma, que como se mencionó con anterioridad, está destinado al cultivo de papas y flores, destinados principalmente al mercado.

Forestal: Gran parte del área, se encuentra destinada a la plantación forestal, con especies arbóreas del tipo; *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*. Estas plantaciones se ubican principalmente en la vertiente del acantilado inactivo y actualmente en parte de la terraza costera baja, lo que se pudo constatar en terreno.

Ganadero: Mediante la observación de terreno se pudo determinar que existe un uso ganadero (bovino), en la zona de la terraza costera baja.

Como complemento al conocimiento general del área y la elaboración de las cartas geomorfológica y de vegetación se especifican los materiales utilizados en la siguiente tabla:

Tabla 1

Tipo de fuente	Año	Escala	Fuente	Nombre
Carta topográfica	1978	1: 25.000	Instituto Geográfico Militar	Las Salinas 322230 - 712230
Carta topográfica	1978	1: 25.000	Instituto Geográfico Militar	Guaquén 321500 - 712230
Carta topográfica	1978	1: 50.000	Instituto Geográfico Militar	Placilla 3215 - 7115
Fotografías aéreas	1994	1: 20.000	Servicio Aerofotogramétrico (SAF)	La Ligua N° 023813 La Ligua N° 023814 La Ligua N° 023815 La Ligua N° 023816 La Ligua N° 023817
Ortofoto N 19461	1996	1: 20.000	Ciren – Corfo.	Longotoma 3219 - 7121

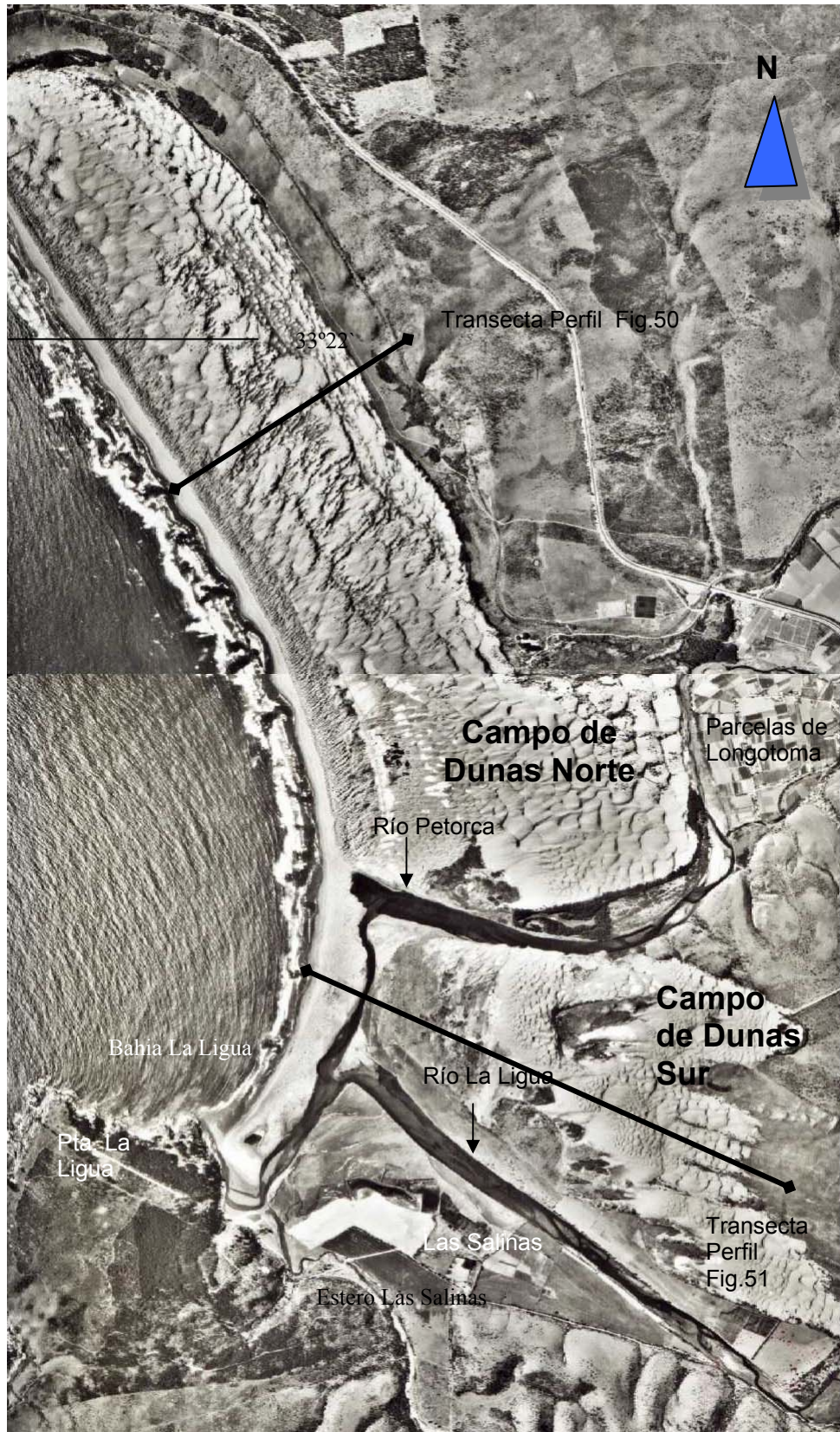


Fig.2 : Area de estudio. Campos de Dunas Norte y Sur.

Procedimientos

Clasificación: Secuencias y familias

La clasificación utilizada para la distinción de las unidades dunares se basó en **Araya- Vergara (2001, comunicación personal)**. Las dunas como formas de acumulación de arenas pueden ser:

- 1) Dunas primarias (derivadas directamente de la playa)
- 2) Dunas secundarias (derivadas de formas pre-existentes). Esto implica un proceso de transformación, mediante el cual una duna evoluciona de manera individual o compartida, ya sea por redistribución de masa o por la asociación y coalescencia de dunas (proceso de *secundarización*).

Existen dos “familias”, en cuanto a formaciones eólicas:

- a) originadas desde la anteduna

Las primeras formas se relacionan en un *continuum dunar* que se origina desde la duna anterior hacia el interior.

Anteduna: Es aquella que se presenta paralela a la playa. Mantiene una estrecha relación con la vegetación que la coloniza y determina su forma alargada.

Blow out : Resulta de la ruptura de un cordón dunar (anteduna) generalmente en los lugares donde no existe vegetación. Es la primera fase de formación de una duna parabólica.

Dunas parabólicas: Es aquella que presenta una forma de parábola o herradura, en que sus alas apuntan a barlovento.

Duna upsiloidal: Es aquella que deriva de una duna parabólica, en la cual sus alas se alargan a tal punto que se transforman en largas y estrechas alineaciones, paralelas entre sí.

Duna lineal: Es aquella que deriva de una duna upsiloidal la cual se desarrolla a tal extremo que una de sus alas muestra un alargamiento de tipo lineal. Estas difieren de las dunas longitudinales en que no necesariamente se desarrollan de manera paralela a la dirección del viento eficaz.

En el proceso de avance de las dunas se producen la coalescencia de formas similares o distintas entre sí. Esta relación puede generar una variante más compleja de las formas ya mencionadas o bien una disposición particular. Este es el caso de.

Duna transgresiva: Es una forma compleja de acumulación de arenas que resulta de la coalescencia de dunas parabólicas.

Patrón aklé: Disposición en la que se presentan un conjunto de dunas parabólicas dentro de un conjunto transgresivo y que contempla la superposición de unas con otras.

b) de origen barjánico.

Las que se generan desde manchas de arena seca sin obstáculos.

Barján: Es aquella duna que presenta una forma de medialuna con sus alas hacia sotavento. Posee la particularidad de que la vertiente de barlovento o de ascenso presenta un pendiente menor que la vertiente de precipitación.

Barján coalescente: Es una unidad conformada por barjanes que mantienen contacto unos con otros, pero que conservan sus formas individuales.

Barjanoide: Es la forma de acumulación que resulta de la coalescencia y unión de varios barjanes que pierden su forma individual, modelando finalmente una masa dunar de gran dimensión que conserva algunos rasgos barjánicos.

Duna transversal: Es la forma de acumulación que posee una disposición de sus crestas que es transversal al viento efectivo.

La coalescencia de las formas, además de la variabilidad del viento local origina nuevas formas de mayor complejidad, entre ellas se encuentra:

Duna anidada: Es aquella compuesta por elementos parabólicos y barjánicos que le dan una forma cerrada, asociada a crestas reversas, producto de la variabilidad del viento local. Además puede presentar rasgos parabólicos y/o barjánicos.

Diferenciación de los mares de dunas

Para la determinación de las distintas generaciones de dunas (antiguas, medias y modernas) se utilizó la metodología de **Araya-Vergara (1989)** quién clasifica las dunas basándose en parámetros de diferenciación temporal como tipo de cobertura vegetal, desarrollo de suelos, índice de desgaste y naturaleza de los sedimentos, mediante lo cual se obtienen las siguientes diferenciaciones: dunas antiguas, medias y actuales. Esta diferenciación fue objeto de estudio en el trabajo de práctica.

En la interpretación de los resultados de las muestras de arena para la diferenciación de los pulsos dunares, se utilizaron varios criterios para el análisis. Entre estos se consideró principalmente el de **Lancaster (1992)** en su diferenciación de generación dunares, donde el factor diferenciador es el grado de alteración post-deposicional de los granos de arena. Mientras para **Kuzucuoglu**

(1998) el contenido petrográfico y las formas del cuarzo son algunos de los elementos diferenciadores en cuanto al origen y la antigüedad de las arenas. Además se consideraron las observaciones de **Araya – Vergara (1989)** en cuanto a la relación proporcional entre cantidad de limo-arcilla y antigüedad de los sedimentos.

Posteriormente y en base a lo anterior se determinaron los distintos pulsos dunares existentes en el campo dunar. Para esto se consideraron los diferentes tipos de dunas y su modo de asociación entre sí, tomando en cuenta su orientación, criterios claves utilizados por **Araya- Vergara (2001)** en la determinación de los pulsos presentes en el Erg de Atacama. Se considero como pulso la generación de dunas debido a nuevos aportes de arena. Entre los criterios utilizados, los fundamentales para la diferenciación de los pulsos fueron la ausencia o presencia de vegetación, vertiente de precipitación y ripples marks. Además se tomaron en cuenta las conclusiones de **Lancaster (1992)** en cuanto a las formas de acumulación de sedimentos, a partir del abastecimiento de arena. Estas formas pueden ser de a) superposición de distintas generaciones dunares o b) mosaicos acumulativos de dunas de distinta morfología.

Observación de Gabinete

En la elaboración de la carta geomorfológica, se tomaron como base los conceptos, anteriormente explicados, realizándose ésta a partir de las fotografías aéreas 1: 20.000, considerando la escala como adecuada para la determinación de los objetivos de este informe. Mientras la elaboración de la carta de vegetación se realizó basándose en las observaciones de terreno, además de la información proporcionada por **Castro**, Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile (**2002, comunicación personal**).

La determinación de las formas geomorfológicas preliminares fue complementada con el análisis de las cartas topográficas 1: 25.000 que pareció adecuada para el estudio del sector por el grado de detalle, mientras la carta topográfica 1: 50.000 proporcionó la información más general acerca de las curvas de nivel y la distribución y forma de las unidades no dunares en el paisaje. Esta información se contrastó y complementó con la información preexistente.

Para la determinación de una zonificación de uso adecuada, se analizaron las normativas legales existentes que son aplicables al área de estudio. Finalmente se propuso una zonificación basándose en las observaciones y conclusiones acerca del sistema dunar, complementando esto con información acerca de ordenamiento territorial costero y una serie de trabajos que nombran específicamente el sector de las dunas de Longotoma como los de **Castro (1984;2001)**, **Andrade (1996;1997)** y **Paskoff (1997;1999)**.

Observación de terreno y laboratorio

Con la determinación de las unidades geomorfológicas preliminares se realizaron las actividades de terreno. Posteriormente se realizó una ordenación de la información recopilada de antecedentes y terreno, para definir las unidades morfológicas definitivas. Esta observación fue dirigida a las formas más representativas dentro del campo dunar y al modo de asociación entre ellas y su relación de vecindad. Además se dio énfasis a la observación detallada de los elementos indicativos de actividad o estabilidad de las dunas.

Las muestras de arena fueron tomadas en cada una de las unidades de mayor relevancia, aquellas que presentaban alguna diferencia temporal previamente establecida. En el Campo de Dunas Sur se tomaron muestras tanto en el macizo de dunas parabólicas con patrón aklé, que se apreciaba como más reciente y las dunas parabólicas medias (vegetacionadas) pertenecientes a un remanente más antiguo que a simple vista infrayace a las primeras. En el Campo de Dunas Norte las muestras fueron tomadas considerando como elemental las diferencias de formas y la probable distinción temporal entre cada una de ellas, solo en una observación a priori. Se consideró desde un comienzo que el material ubicado entre el acantilado inactivo y la carretera 5 Norte era el más antiguo, por su posición geográfica y cobertura vegetal, por lo que se consideró como base para la comparación de los pulsos medios y recientes. El grado granulométrico modal es de arena fina, ya que representa el mayor porcentaje acumulado de la muestra. La morfoscopía se hizo sobre 100 granos por muestra, aún así se consideraron las observaciones en las porciones de arena media y limo- arcilla para contrastar la información. Se tomó en consideración la textura superficial y la forma de los granos. Esta última característica se determinó por el sistema de **Powers (1953)**.

RESULTADOS

Formas costeras no dunares

En el área de estudio se pueden diferenciar según sus características geomorfológicas las unidades descritas a continuación.

Terrazas costeras y acantilados

Terraza costera alta

Esta unidad se puede deducir por la existencia del acantilado inactivo y la altura aproximada del mismo, cercana a los 100 metros, sobre el permanecen las dunas antiguas actualmente inactivas (Fig.3 y 5). Se observa dividida en dos partes separadas por el río Petorca. Al norte del río la terraza es cubierta en parte por las dunas antiguas indeterminadas, tratadas más adelante. En su parte sur esta unidad se ubica entre los valles de los ríos Petorca y La Ligua. Sobre ella, en el campo dunar sur, yacen las unidades dunarias de patrón aklé, y las dunas longitudinales antiguas.

Sus vestigios son fácilmente identificables en la ribera sur del río Petorca, donde los depósitos de arena dejan entrever el material de la terraza. Además de esto se presenta de manera clara un remanente de ella en la unidad de dunas en patrón aklé, que presenta una mayor altura, lo que evidencia la superposición del sistema dunar sur sobre ella. En su vertiente norte cercana a la ribera del río Petorca esta unidad presenta grandes cárcavas, a modo de *bad lands* (Fig.4).



Fig.3: Terraza costera alta y baja.



Fig.4: Morfología de *bad lands*.

Terraza costera baja

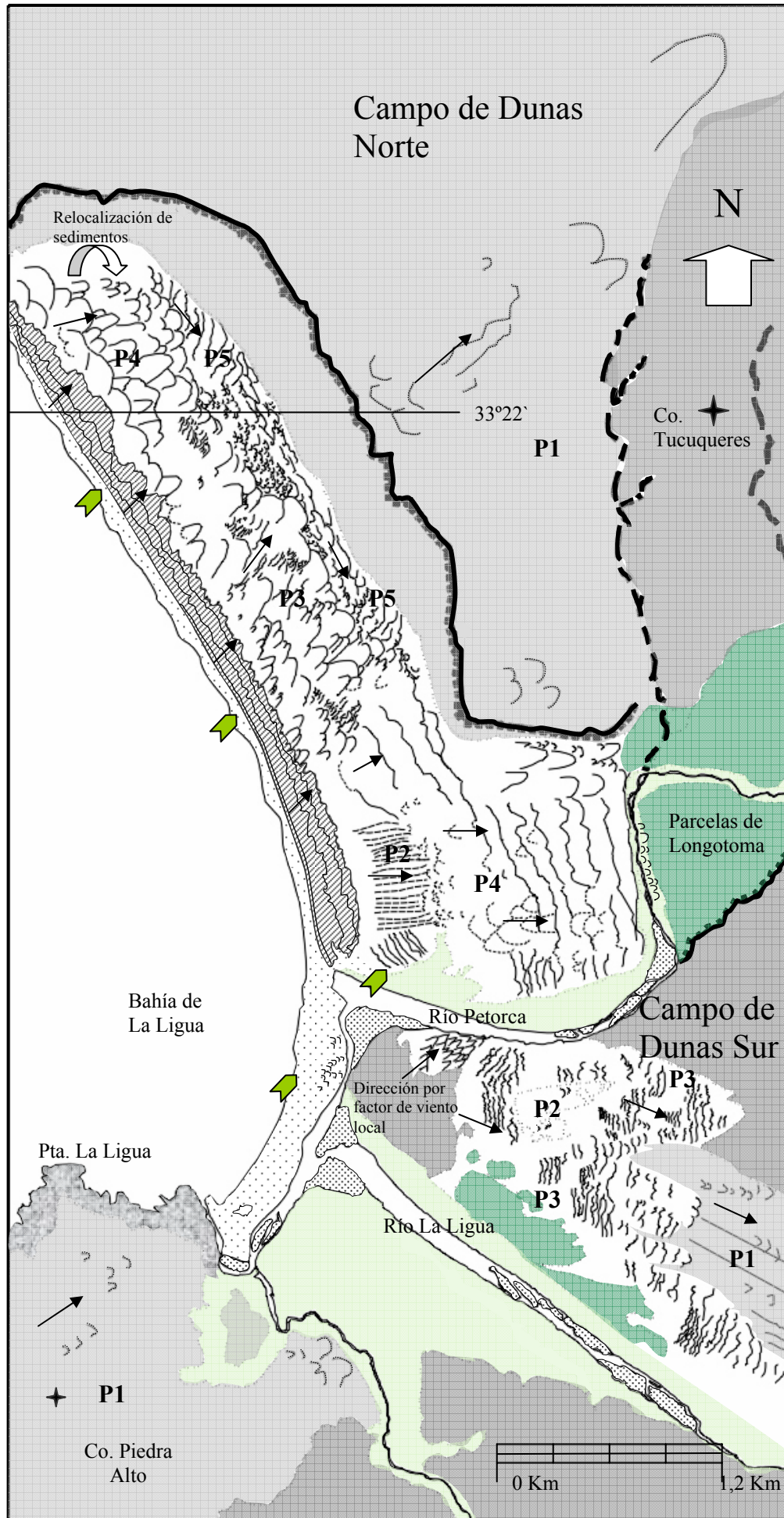
Esta unidad se ubica entre los ríos Petorca y La Ligua, en las cercanías de sus desembocaduras. Presenta una altura aproximada de 3 a 6 metros (Fig.3; Fig.5). En ella se puede diferenciar en dos niveles, el más bajo de los cuales puede ser recubierto durante las crecidas excepcionales.



Fig.5: Terraza costera baja.






En cuanto a la cobertura de vegetación se presentan especies vegetales del tipo psamnófito y gramíneas que actualmente comparten espacio con plantaciones forestales. Las actuales plantaciones no se observaban al año 1996 (fotos aéreas), por lo que esta información se sustrajo de la observación de terreno.

Fig. 6






SIMBOLOGÍA



Formas litorales y costeras no dunares

	Terraza costera
	Playa
	Bancos
	Depósitos fluviales antiguos
	Depósitos fluvio -estuariales
	Costa rocosa

Formas dunares

	Anteduna
	Dunas antiguas
	Dunas medias y actuales

Símbolos explicativos

	Zona de abastecimiento
	Dirección de flujos

Acantilado inactivo degradado

Esta unidad geomorfológica se ubica en el sistema dunar al norte del río Petorca y es conformada por una vertiente, que actualmente se presenta estabilizada por vegetación, que presenta una altura aproximada de 100 metros.

La vegetación en esta área se relaciona directamente al matorral bajo costero (**Canales, 1991: 64**), el cual se conforma por especies espinosas y herbáceas, donde las plantas poseen un período vegetativo invernal y primaveral. Las especies xerófitas, arbustivas y cactáceas se distribuyen en planicies y quebradas asoleadas, ya que están determinadas por su exposición al sol.

En el acantilado inactivo también se presentan especies introducidas como *Pinus Radiata*, *Pinus insignis* y *Eucaliptus sp*, los cuales forman parte de plantaciones forestales que coexisten con la vegetación natural del área.

Formas Litorales no dunares

Playa

Esta unidad posee un ancho que varía estacionalmente, en invierno es menor (*retrogradación*) que en verano (*progradación*), debido a las marejadas. El ancho de ella varía de manera irregular, dependiendo principalmente de la zona de rompientes, la cual a su vez depende directamente de la dirección y energía del oleaje. Su ancho puede variar desde los 30 a los 120 metros, mientras en algunos sectores se presentan microacantilados (Fig.7), como se comprobó en terreno, que varían de 0,50 a 1,5 metros de altura.



Fig. 7: Playa. Microacantilados.

Flecha arenosa

Esta forma se visualiza como una prolongación de la playa. Posee una longitud aproximada de dos kilómetros y un ancho que varía estacionalmente (Fig.8). Esto último depende principalmente de los ríos Petorca y La Ligua, con los aportes pluviales en la estación lluviosa se causa el aumento del caudal provocando erosión lateral en la flecha, Además de esto, las marejadas provocan un socavamiento de la playa en la zona externa de la flecha. Ambas condiciones o en conjunto hace variar la forma y extensión de ella. En la estación seca, en cambio, se da un proceso de deposición de material en la flecha, ensanchándola y provocando una modificación en el paisaje donde se presenta unida directamente a la playa. Mientras en la estación lluviosa esta continuidad se rompe debido al mayor caudal del Río Petorca que desemboca directamente al mar.



Fig. 8: Zona estuarial de los ríos Petorca – La Ligua. Flecha arenosa.

Formas estuariales

Bancos

Esta unidad se conforma por acumulaciones de arena, ubicadas principalmente en las riberas de los ríos Petorca y La Ligua. Son producto del arrastre de materiales por parte de los ríos. Estos bancos laterales a su vez están asociados, o bien son causantes, de algunas formas dunares que se desarrollan a lo largo de ambas riberas del río Petorca (Fig.9). Este material en los periodos de alto caudal es arrastrado hacia la desembocadura de los ríos, donde vuelven al sistema.



Fig. 9: Río Petorca. Formas dunares asociadas a sedimentos fluviales.

Terraza fluvial antigua

Se ubica a sotavento del sistema dunar donde actualmente se localiza el asentamiento rural de Las parcelas de Longotoma (Fig.10). Estos depósitos presentan una altura que promedia los 4 metros en ambas riberas del río. Mientras en la zona sur del sistema se encuentra ubicada entre la terraza estuarial en la ribera del río La Ligua y la unidad de dunas en patrón aklé, donde no hubo invasión de las arenas.



Fig. 10: Parcelas de Longotoma. Terraza fluvial antigua.

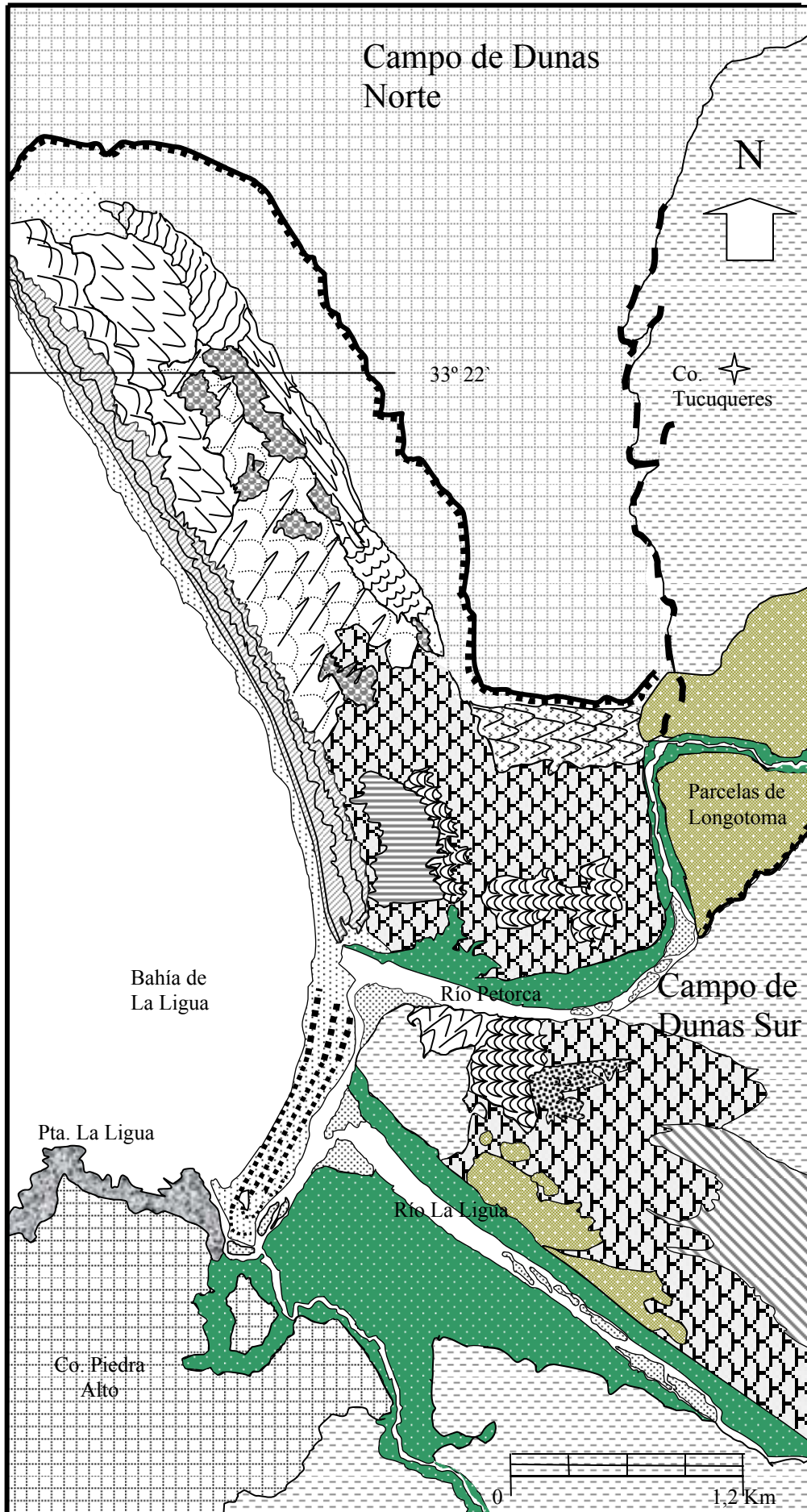
Terraza estuarial

Esta unidad esta conformada por los depósitos sedimentarios recientes arrastrados por el curso actual de los ríos Petorca y La Ligua, los cuales se componen principalmente por arenas y gravas. Estos depósitos se encuentran ubicados en las riberas de ambos ríos conformando una terraza que alcanza hasta los 3 metros de altura (Fig. 11), la que es inundada en algunas de sus partes estacionalmente.

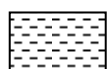


Fig. 11: Terraza estuarial. Ribera del río Petorca.

Fig.12



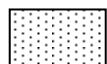
SIMBOLOGIA

Formas litorales y costeras no dunares

Terraza costera



Acantilado inactivo degradado



Playa



Flecha arenosa



Areas deflacionadas



Costa rocosa

Formas estuariales

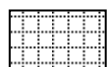
Bancos



Terraza fluvial antigua



Terraza estuarial

Formas dunaresDunas Antiguas
Pulso 1

Indeterminadas



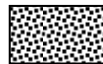
Longitudinales

Dunas Medias y actuales
Pulso 2

Parabólicas de onda corta

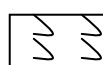


Lineales longitudinales

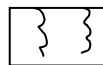


Parabólicas medias

Pulso 3

Parabólicas con upsiloidales
SuprayacentesCon patrón aklé y rasgos
Upsiloidales (Campo Sur)

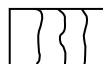
Pulso 4



Parabólicas coalescentes



Upsiloidales alargadas

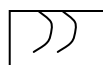


Trangresivas

Pulso 5



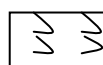
Anteduna



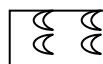
Parabólicas



Upsiloidales vegetacionadas

Con patrón aklé y rasgos
Upsiloidales (Campo Norte)

Patrón aklé



Barjanes coalescentes

Análisis, distribución de los mares de dunas y formas dunares asociadas.

El sistema dunar de Longotoma, se puede subdividir en dos campos dunares. El primero de ellos, Campo de Dunas Norte, se ubica al Norte del río Petorca, presenta formas asociadas principalmente a la familia anterior – parabólica y presenta anteduna en toda la extensión de la playa. Representa la mayor área del sistema. Entre ambos ríos, Petorca al Norte y La Ligua al Sur, se ubica el Campo de Dunas Sur. Al igual que su homólogo sus formas se relacionan a las formas parabólicas, pero se diferencia en su génesis y evolución al campo dunar norte, además no presenta una estructura de anteduna y los elementos barjánicos se hacen más visibles. En ambos campos se diferenciaron cinco pulsos dunares.

Campo de Dunas Norte

Pulso 1: Se trata de las dunas antiguas indeterminadas (Fig.13). Las formas que aún presentan rasgos dunares se mantienen como dunas parabólicas de gran tamaño, alternadas con algunos rasgos de elongación y varias formas barjánicas. Estas son formas suaves y vegetacionadas, indicando un conjunto generalmente inactivo. En este pulso también se pueden incluir las formas dunares que se desarrollaron sobre la terraza costera en la Punta La Ligua. Se deduce la antigüedad de este pulso por su ubicación geográfica y la existencia de un horizonte de suelo orgánico, además de vegetación evidentemente desarrollada. En cuanto a las características sedimentológicas el porcentaje de ferruginización y la cantidad de arcilla presente en la muestra de sedimento es mucho mayor al resto de las muestras. Finalmente este pulso presenta una morfología actualmente alterada por el paso del tiempo y los factores climáticos, que hacen difícil su reconocimiento.

Dunas antiguas indeterminadas.

Principalmente se ubican sobre el acantilado inactivo, al Este del Campo de Dunas Norte, extendiéndose por más de 1 kilómetro sobre la terraza costera alta. Presentan un suelo bien desarrollado que posee un espesor entre 60 a 80 cm. con cobertura de vegetación (Fig.13 y Fig.14). Aparentemente posee una mayor cantidad de arcilla y sedimentos oxidados, lo que les confiere un color pardo rojizo. Esta unidad perdió su morfología original y actualmente presenta una morfología de lomajes suaves. En la observación de las fotografías aéreas se pudo determinar la existencia de dunas upsiloidales y parabólicas de gran tamaño.

Esta unidad también se localiza sobre una terraza marina que posee una altura aproximada por sobre los 70 metros, cercana a Punta La Ligua (Fig.16). Se encuentra cubierta por vegetación y actualmente posee un suelo desarrollado. Se puede apreciar la permanencia de algunas formas parabólicas aisladas, de menor tamaño (Fig.15), que muestran la dirección del viento predominante (SW).



Fig.13: Campo de dunas Norte. Morfología actual indeterminada.



Fig.14: Campo de dunas Norte. Material dunar antiguo

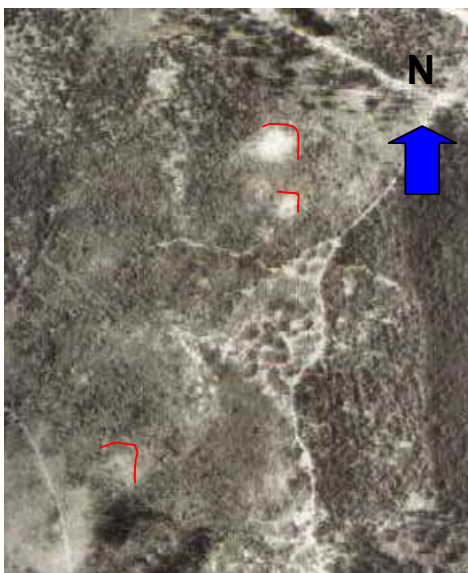


Fig.15: Terraza de abrasión marina. Morfología de dunas parabólicas aisladas.

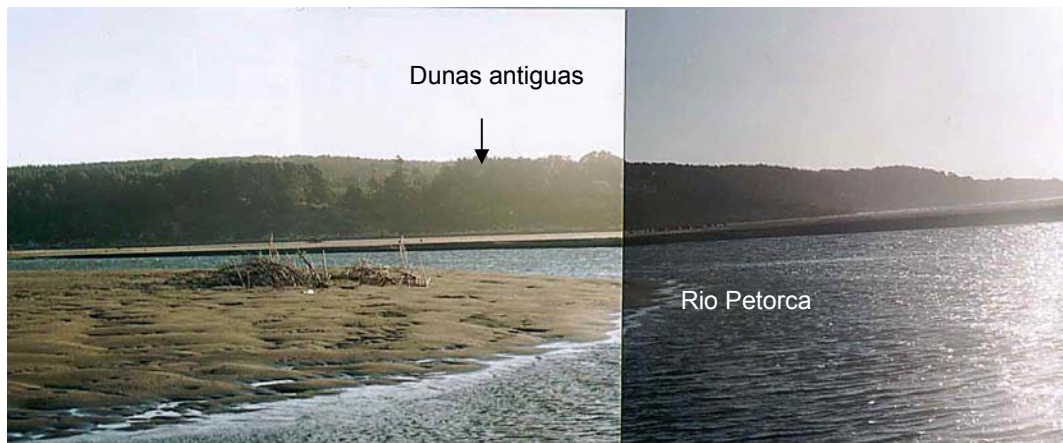


Fig.16: Terraza de abrasión marina. Dunas antiguas indeterminadas.

La vegetación en esta unidad coincide con la vegetación existente en el acantilado inactivo. También existen plantaciones forestales que coexisten con la vegetación natural.

Pulso 2: Incluye las dunas parabólicas de onda corta y lineales longitudinales que presentan un “*corduroy pattern*” (*cotelé*). Estas dunas infrayacen al conjunto de patrón aklé y a la unidad de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes (Ver fig.12). Estas unidades se encuentran cubiertas por vegetación psamnófitas en una mayor densidad que en las unidades morfológicas vecinas, aún cuando no presentan desarrollo de suelo. La vegetación y la ausencia de *ripple marks* les confiere el carácter de sistema inactivo. En el Campo de Dunas Norte estas dunas, al parecer, no suprayacen totalmente al pulso uno, sino que lo cubren solamente en su sección más baja. Además de esto las dunas se mantienen a una altura considerablemente baja con respecto a todos los pulsos restantes, lo que se demuestra en el avance, ya sea anterior o presente, de los demás pulsos, a excepción del pulso 1, sobre el pulso 2. La densidad de vegetación es menor al pulso anterior, pero aún así mayor al del resto del campo dunar, también cambia el tipo de vegetación y presenta un incipiente desarrollo de suelo. La ausencia de vertientes de precipitación activas, hace deducible la falta de suministro de material hacia ellas, aún así las formas originales permanecen intactas pero levemente suavizadas. Finalmente la diferencia de orientación con respecto al resto de los pulsos, le confiere una característica especial que se explica por factores topográficos.

Dunas parabólicas de onda corta

Esta unidad se ubica al Este del Campo de Dunas Norte, entre el frente transgresivo de la unidad de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes y el acantilado inactivo (Fig.17 y 20). Se caracteriza principalmente por

presentar una orientación NW-SE que comparte con las unidades inmediatamente vecinas a ella, y que se diferencia del resto de las unidades dunarias que presentan una orientación general W-E. Se caracterizan también por su forma de herradura que mantiene sus alas hacia barlovento, presentando una depresión central, que hace juego con las vertientes de deflación (Fig.17).

La *onda corta* se debe posiblemente al efecto de compresión del sistema por influencia topográfica. Se encuentran algunos remanentes de esta unidad distribuidos en los sectores más bajos en la unidad de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes. Al parecer, esto se relaciona con el abastecimiento de arena en la unidad mencionada, este es menor que en el resto del campo dunar debido al efecto de la vegetación que atrapa la arena, además de la gran altura del macizo donde el viento local no alcanza a llegar a los lugares de menor altura (Fig. 2).



Fig.17: Campo de Dunas Norte. Morfología de dunas parabólicas de onda corta.

La vegetación es dominada por *Carpobrotus aequilaterus* y *Ambrosia chamissonis* pero esta vez la acompañan otras especies, además de modificarse su cobertura y abundancia. Las unidades de dunas parabólicas de onda corta presentan en sí una mayor cobertura de vegetación, en su mayoría psamófitas y gramíneas, la razón de esta mayor abundancia se debe a que esta unidad está ubicada a menor altura, detrás de un frente transgresivo de unos 15 a 20 metros de altura que impide el abastecimiento y la deja aislada de los fuertes vientos, por otro lado en la zona norte del campo dunar las dunas transgresivas que la anteceden también poseen una mayor altura y aún reciben aportes de arena que se moviliza por vías del viento. La vegetación se distribuye principalmente en los flancos y crestas de las dunas, dejando al descubierto solo parte de la depresión central.

Dunas lineales longitudinales

Esta unidad se ubica en la zona sur del Campo de Dunas Norte, cerca a la ribera del río Petorca (Ver Fig. 12). Se desarrolla sobre la unidad de dunas en patrón aklé, aparentemente, ya que la génesis de estas dunas es compleja. Se caracterizan por su conformación de dunas alineadas paralelamente a la dirección del viento, manteniendo una orientación W-E. Su longitud máxima alcanza los 500 metros en esta dirección, mientras la altura de los lineamientos varía entre los 2 y 3 metros.

Pueden existir distintas explicaciones a la localización de este tipo de dunas. Una de ellas se puede explicar, por la cercanía de napas freáticas a la superficie en este sector, lo que se demuestra a través de la cobertura vegetal de *Scirpus nodosus* (Fig. 18), característica de zonas húmedas y planas. Esta condición puede dificultar la movilización de las arenas, por la condición de humedad, rompiendo la continuidad del patrón aklé que se inicia en las cercanías de la desembocadura del río Petorca.



Fig.18: Campo de dunas Norte. Vegetación asociada a napas freáticas (*Scirpus nodosus*).

La morfología de estas dunas esta condicionada a los bajos aportes de arena, como resultado de lo anterior, y la existencia de vientos intensos en una dirección EO. El desarrollo de esta unidad debe asociarse principalmente a las estaciones secas, donde la radiación es mayor y evapora cierta parte de los afloramientos de agua que se presentan en el área.

La vegetación se ubica principalmente en los flancos y depresiones entre las elongaciones, dejando al descubierto las crestas y cubriendo densamente el resto del área, se observa *Carpobrotus aequilaterus* acompañado de *Scirpus nodosus*.

Pulso 3: Contiene las dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes. Se conforman como un macizo dunar que alcanza una altura de 30 mts, en su zona más alta, y sobreyace a las dunas pertenecientes al Pulso 2, cubriéndolas en parte. La presencia de elementos upsiloidales se debe al alargamiento de las parabólicas. Se caracterizan por estar vegetacionadas, aunque en menor grado que en el pulso 2. Estas dunas presentan vegetación que se fija principalmente en las vertientes de precipitación activas y en los lugares más bajos, en su mayoría remanentes del pulso 2. Ellas carecen de desarrollo de suelos en toda su extensión.

Dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes

Se ubica inmediatamente al Norte del patrón aklé en la zona media del campo dunar norte, abarcando la segunda unidad geomorfológica más extensa dentro del sistema (Fig.12 y 19). Presenta dunas cuyas alturas pueden alcanzar hasta los 5 metros desde sus bases.

Esta unidad presenta una mayor cobertura de vegetación asentada en ella, en relación a las dunas vecinas. Es una de las de mayor antigüedad, por esta razón presenta individuos en una mayor superficie, al mismo tiempo que otras especies de mayor altura. Estas especies se distribuyen a modo de grandes conjuntos de vegetación en las partes bajas de las vertientes de precipitación, algunas veces ocupando toda la vertiente, se presentan también en todo sector que presente pequeñas depresiones y en especial en el frente de avance de esta unidad, donde se pueden presentar las especies de mayor altura que se relacionan directamente a la presencia del acantilado inactivo con especies típicas del matorral bajo costero acompañando a la vegetación psamófitas.



Fig.19: Campo de Dunas Norte. Diferencia en la densidad de vegetación entre dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes y dunas en patrón aklé.



Fig.20: Campo de dunas norte. Remanente de dunas parabólicas de onda corta en unidad de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes.

Pulso 4: Este sistema se extiende a barlovento del pulso 3 y 5 (Fig. 37), suprayaciendo al primero e infrayaciendo al segundo. Esta representado por un sistema de dunas parabólicas coalescentes, upsiloidales alargadas y algunas formas transgresivas. Aún cuando estas formas son contemporáneas entre sí, presentan diferencias morfológicas y de cobertura vegetal, que se puede explicar por la relación de vecindad con unidades más vegetacionadas. Cabe destacar que en la primera unidad mencionada se puede apreciar el movimiento de los sedimentos a nivel de superficie, agregando a esto una menor cobertura vegetal, este fenómeno puede ser explicado por la mayor exposición, de esta área en general, al factor viento que abastece de arenas a la unidad de dunas transgresivas, desde las unidades más recientes. Una diferencia notable de este pulso, en comparación con el resto del campo dunar, es su orientación NW - SE que difiere del resto del sistema norte, a razón de la variabilidad del viento local por las barreras topográficas. Esta unidad se caracteriza por deber su origen a una relocalización de arenas.

Dunas parabólicas coalescentes

En la misma depresión, esta unidad se encuentra ubicada a sotavento de la unidad de las dunas upsiloidales alargadas (Fig.2 y 37). Contiene formas parabólicas de distinto tamaño que avanzaron de manera individual a distinta velocidad, produciéndose la unión de sus alas y la consecuente coalescencia de sus formas, indicando un abastecimiento de arena casi nulo o bien ausente en el presente.

La vegetación se presenta principalmente en las crestas y partes más bajas de la vertiente de sotavento, es importante mencionar que las especies *Carpobrotus aequilaterus* y *Ambrosia chamissonis* se encuentran acompañadas de algunas especies de gramíneas.

Dunas upsiloidales alargadas

Esta unidad se ubica en una depresión ubicada entre la unidad anterior y el acantilado (Fig.21). Las dunas upsiloidales se caracterizan por ser una derivación de una duna parabólica en la cual sus alas se transforman en largas y estrechas alineaciones paralelas entre sí que reflejan la dirección de un viento eficaz del NW (Fig. 22).



Fig.21: Campo de Dunas Norte. Dunas upsiloidales alargadas

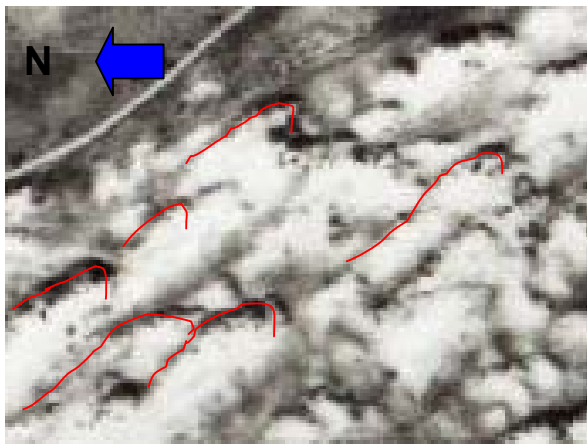


Fig.22: Acercamiento de foto aérea. Morfología de dunas upsiloidales alargadas.

Dunas transgresivas

Esta unidad se ubica en el extremo noreste del campo dunar, inmediatamente al Norte de la unidad de dunas parabólicas de onda corta. Este es un patrón de dunas que se desarrolla a modo de ondas separadas entre sí, cuyas crestas son transversales a la dirección del viento efectivo (Fig.23). En este caso el viento mantiene una dirección NW-SE. Esta orientación se debe particularmente a que este sistema presenta un viento efectivo NW debido a la

desviación del viento proveniente del SW. El viento choca con el acantilado inactivo, produciendo un *efecto tubo* al canalizarse por el corredor que se forma entre esta unidad y el frente transgresivo de la unidad de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes. Esta unidad sostiene un avance lento sobre la unidad de dunas parabólicas de onda corta.



Fig.23: Campo de dunas Norte. Morfología de dunas transgresivas.

Pulso 5: En la zona proximal se presenta como el patrón aklé (Ver Fig.37). Se trata del pulso más reciente, conformado por las formas activas dentro del sistema. Incluye el patrón aklé con sus elementos parabólicos y barjánicos. Tal disposición muestra una menor longitud de onda en algunos sectores probablemente asociada a la mayor pendiente, donde consecuentemente disminuye la capacidad del viento de transportar la arena a mayores distancias. También las formas barjánicas presentan un mayor grado de compresión en el sector a sotavento del "*corduroy pattern*" (pulso 2). La condición de cercanía entre las distintas unidades origina espacios que presentan formas onduladas, convexas y cóncavas a barlovento, donde se confunden los estilos barjánicos y parabólicos. En la zona distal del campo dunar norte los elementos se diferencian claramente unos de otros, las formas parabólicas se presentan amplia y claramente, mientras a barlovento de estas se produce un primer signo de transformación expresado en las formas upsiloidales que siguen la orientación del viento local. Estas últimas formas, en apariencia abastecen de sedimento a las unidades situadas inmediatamente a sotavento de ellas, traduciéndose en un proceso de relocalización de las arenas. No existe vegetación alguna en ellas, y la presencia de *ripples marks* indica el alto grado de actividad presente.

Anteduna

Esta unidad se ubica a lo largo de la playa, de manera paralela a ésta, hasta la desembocadura del río Petorca y posee una longitud aproximada de cuatro kilómetros. Presenta un ancho total que varía entre los 150 y 200 metros, conformado por dos cordones principales y alcanza una altura máxima de tres a cuatro metros. Su altura varía disminuyendo de Sur a Norte. Su ancho también presenta diferencias, por ejemplo la anteduna es más ancha en los extremos Norte y Sur, por el aumento del número de cordones de dos a cuatro (Fig.24), pero es más estrecha en la sección central, esto tiene relación directa con el ancho de playa y la zona de rompientes que se presentan en el sector (Fig.25). En cuanto a estas relaciones no se ahondará en detalles por ser el motivo de un estudio complementario y paralelo a este.

Esta unidad también posee una relación directa con la vegetación y la playa, ya que se origina por los aportes que se depositan desde el mar en la playa, mientras la vegetación fija los aportes formando las acumulaciones (microdunas o dunas embrionarias). La presencia de microdunas en algunas secciones de la playa demuestra los importantes aportes de masa con ausencia de erosión notable. Posteriormente, entre los montículos se generan pasillos desprovistos de vegetación llamados corredores de deflación que se orientan en el sentido del viento eficaz (Fig.26).

Finalmente se puede mencionar que la anteduna posee un desarrollo notable de dunas upsiloidales a través de toda su longitud, generadas directamente, como formas primarias, desde ella.



Fig. 24: Campo de Dunas Norte. Morfología de anteduna. La flecha indica la dirección de los corredores de deflación. Desde la playa hacia el interior se puede diferenciar los cordones de anteduna, desde el más reciente al más antiguo.

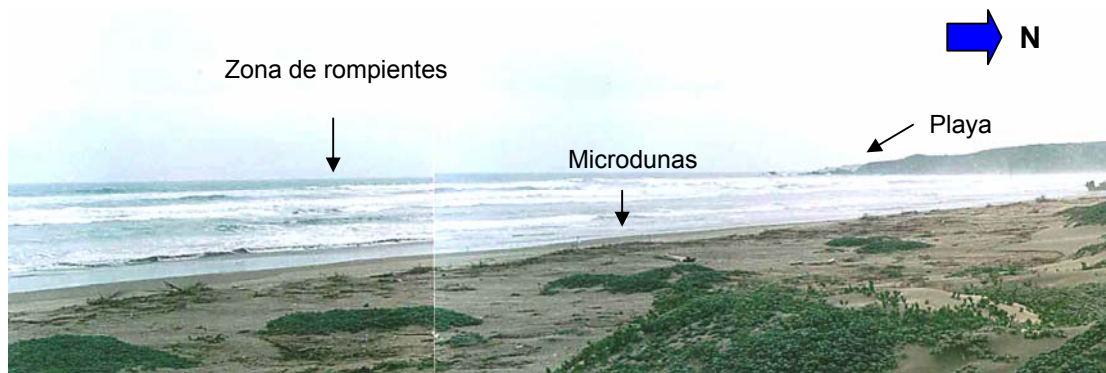


Fig.25: Campo de Dunas Norte. Proceso de formación de anteduna.

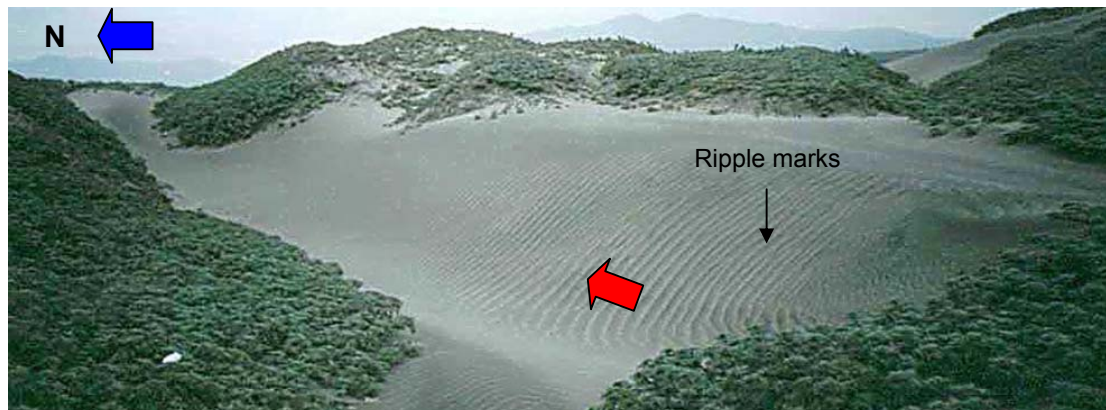


Fig.26: Campo de Dunas Norte. Corredor de deflación. La flecha roja indica la dirección del viento.



Fig.27: Campo de Dunas Norte. Depresión interdunar. Afloramientos de agua,

En la depresión interdunar se presentan afloramientos de agua (Fig. 27), que indicarían la cercanía de napas freáticas a la superficie, por esta razón la vegetación varía con respecto a las demás unidades dunares cediendo la dominancia al *Scirpus nodosus* (Fig.28) que se encuentra cercana o sobre los lugares que presentan mayor humedad en la depresión. Esta coexiste también con el *Carpobrotus aequilaterus* pero en menor abundancia.



Fig.28 : Vegetación de depresión interdunar.

Dunas parabólicas

Se ubican en el extremo distal del Campo de Dunas Norte, inmediatamente a barlovento de la anteduna. Estas tienen relación directa con el aporte de arenas proveniente de la playa y la zona de rompiente de alta energía que la abastece. Se presentan dunas que son más bien amplias, individualmente, y en cuanto a su área de extensión que prominentes en altura, estas pueden alcanzar los 7 y medio metros desde su base. (Fig. 29)

Esta unidad presenta poca e inclusive nula vegetación, y cuando esta existe se distribuye de manera dispersa solamente en los lugares que sean aptos para su desarrollo.

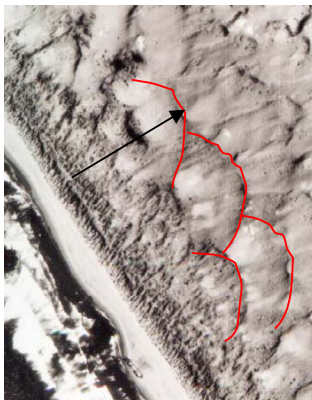


Fig.29: Campo de Dunas Norte. Morfología de dunas parabólicas.

Dunas upsiloidales vegetacionadas

Esta unidad se encuentra en el campo dunar norte, entre la unidad de dunas en patrón aklé y la unidad de dunas antiguas indeterminadas. Se caracteriza por ser un área que ha sido colonizada por la vegetación proveniente desde la unidad de dunas antiguas (Fig. 30). Aparentemente esta unidad era en su forma original parte del patrón aklé colindante que a razón de la vegetación pasó por un proceso de cambio que alteró su forma original alargando sus alas hacia sotavento. Aún así se podría deducir que estas formas son más antiguas que la unidad ya mencionada, por la excesiva presencia de vegetación. (Fig. 2)



Fig.30: Campo de Dunas Norte. Dunas upsiloidales vegetacionadas.

Dunas en patrón aklé

Esta unidad se ubica en el extremo sur del Campo de Dunas Norte. Las dunas en esta zona se presentan como un enorme macizo, cuya forma característica se dispone de manera transversal al viento eficaz. (Fig.2 y 37) Esta resulta posteriormente a una coalescencia de dunas parabólicas que se superponen unas con otras (Fig. 31), perdiendo su individualidad. En su zona central presentan una longitud de onda de aproximadamente 100mts.

Posee su límite en un frente transgresivo de baja altura (5 a 15 mts) que se une a un área deprimida la cual representa la separación entre el frente y el acantilado inactivo (Fig. 33). Este frente se estabiliza temporalmente por la vegetación nativa en conjunto con nuevas plantaciones forestales. Más al Sur, se observa un engrosamiento y a su vez un aumento de la altura del frente transgresivo hasta llegar a la ribera del río Petorca donde tributa directamente a él (Fig. 32). En este sector su altura puede alcanzar unos 25 a 30 metros. Esto genera una serie de bancos de arena en el lecho y también determina que probablemente esta arena sea retransportada hacia el sistema.



Fig.31: Campo de Dunas Norte. Morfología de dunas en patrón aklé.



Fig.32: Campo de Dunas Norte. Frente transgresivo de dunas en patrón aklé en contacto con terraza del río Petorca.



Fig.33: Campo de Dunas Norte. Frente transgresivo de dunas en patrón aklé en proceso de estabilización, en contacto con el acantilado inactivo.

La vegetación sigue siendo dominada por *Carpobrotus aequilaterus* y *Ambrosia chamissonis* pero esta vez la acompañan otras especies, como vegetación de tipo herbácea, de manera mínima y dispersa. Además se observó que la vegetación presente en ellas se desarrolla más que nada en los lugares cercanos a las riberas de los ríos Petorca y La Ligua, donde por acción eólica se produce un arrastre de semillas hacia las dunas (Fig.31).

Dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales

Estas dunas se ubican en el extremo norte del Campo de Dunas Norte. Hacia la zona sur de esta unidad ellas poseen menores alargamientos en sus alas y cambian su orientación más al Este. En este sentido se podría decir que las dunas de esta zona se asemejan mayormente al tipo de dunas que les dió su morfología actual, las dunas parabólicas (Fig.34). Por la orientación de las vertientes de precipitación, se deduce la influencia de vientos eficaces WNW.



Fig.34: Campo de dunas Norte. Morfología de dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales.

Barjanes coalescentes

Se desarrollan específicamente en asociación con el patrón aklé, en ambos campos, observándose más claramente en la zona proximal del campo dunar Norte, donde se aprecia su mayor área (Fig.12). Se presentan barjanes de distintos tamaños, que a pesar de su coalescencia conservan intacta su forma, diferenciándola de las dunas parabólicas superpuestas que conforman el patrón aklé (Fig.31). Al Sur del patrón aklé estas formas presentan gran compresión como resultado del ascenso de la pendiente y la variabilidad topográfica y presentan una longitud de onda de aproximadamente 40 mts.

En esta unidad se puede apreciar a simple vista, en terreno, la presencia de ripple marks y el efecto de la deflación en sus crestas. Puede ser que estos barjanes se relacionen con la aparición de zonas húmedas estacionales en parte de la depresión interdunar, lo que puede explicar el origen de aquellas y su diferencia con las formas preexistentes, en función de la dinámica del estuario Petorca – La Ligua y la existencia de los humedales, en su zona más alejada de la playa. Mientras en la zona ubicada a sotavento de las dunas

lineales longitudinales el aporte de arena hacia los barjanes (de menor tamaño) se encuentre condicionado por marismas y afloramientos de agua estacionales.

Barjanes aislados y dunas anidadas

Estas formas individuales se encuentran distribuidas de manera errática a través de todo el sistema dunar, tanto en el Sur, como en el Norte. Varían en sus tamaños y se pueden observar grandes barjanes en los sectores cercanos a la anteduna y otros más pequeños a medida que se avanza hacia el interior del campo dunar. Estas formas se presentan en su manera más común y también con sus alas mucho más perfiladas (Fig.35). Las primeras son influidas por el viento unidireccional que mantiene su forma original, mientras las segundas se ven modificadas en sus alas por la bidireccionalidad del viento (que bien puede ser estacional) en algunas zonas.

Las dunas anidadas en su mayoría se encuentran localizadas en la zona de distribución del patrón aklé, cercanas casi siempre a los límites de las unidades morfológicas colindantes. Estas formas se desarrollan a partir de la composición compleja de elementos barjánicos y parabólicos, lo que en esta área es común debido al efecto de vientos locales que se desvían de su curso normal debido a las barreras topográficas y la presencia de frentes de gran altura.

Fig.35

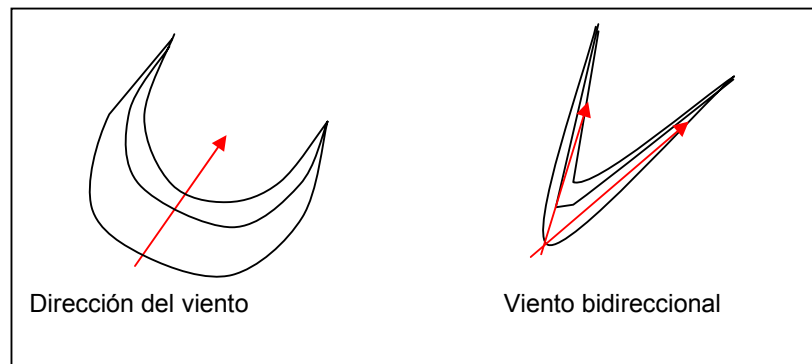


Fig.36: Campo de dunas Norte. Morfología de duna anidada vegetacionada.



Fig. 37: Pulsos formativos en el Campo dunar de Longotoma

Carta de vegetación
Campo dunar de
Longotoma

SIMBOLOGÍA



Plantaciones forestales



Matorral bajo costero



Vegetación psamófitas



Vegetación de Humedal



Cultivos agrícolas



Sin vegetación

Escala
1 : 30.000

Según la autora y C. Castro,
Instituto de Geografía,
Universidad católica.
Comunicación personal.

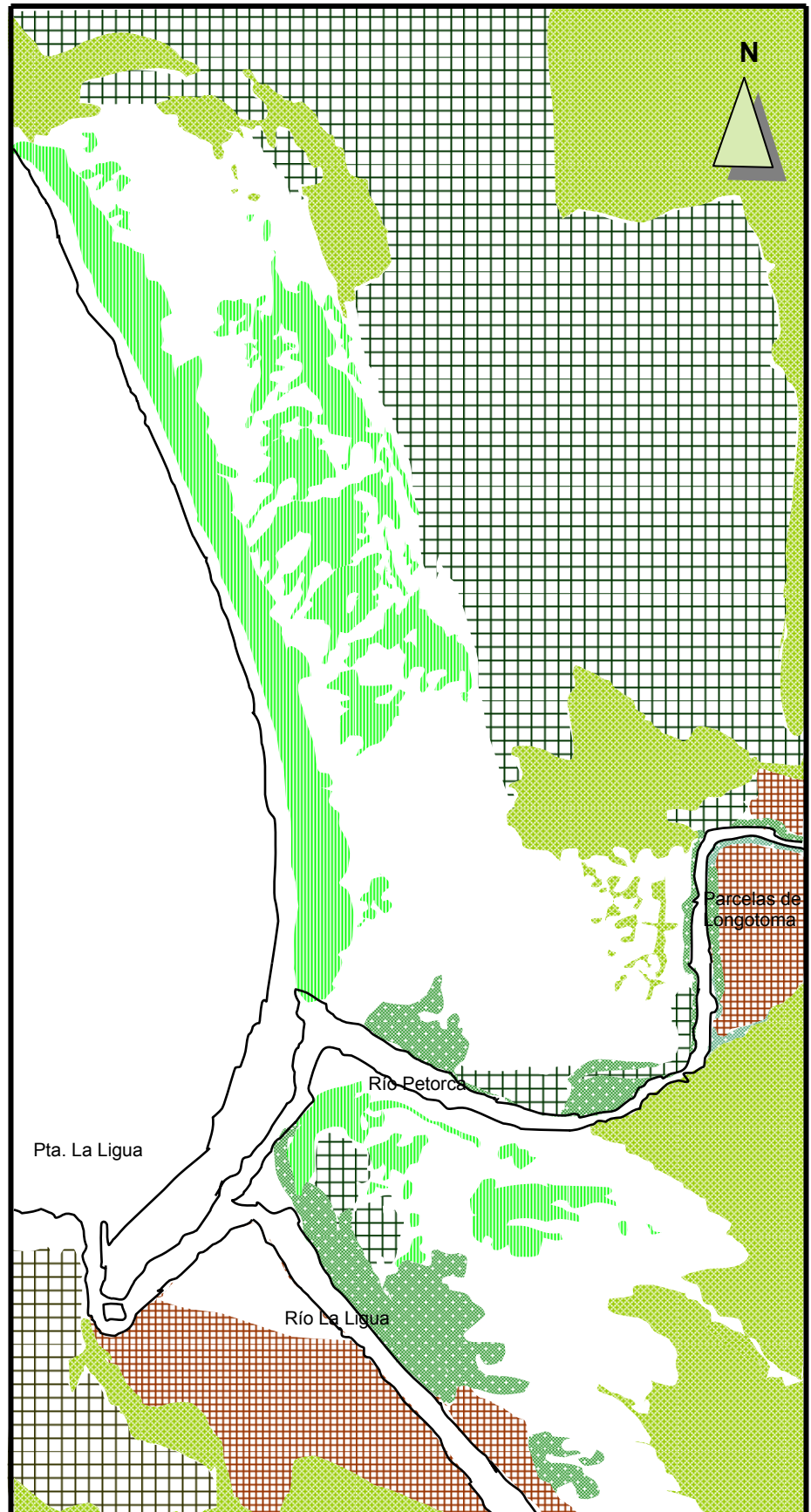


Fig. 38

Campo de dunas Sur

Pulso 1: Se trata de las dunas longitudinales antiguas. Estas infrayacen a las dunas en patrón aklé (Pulso 5). Hay que destacar que su dirección refleja viento eficaz desde WNW, lo que les confiere una organización distinta al resto del pulso 1 y a todos los demás. Estas formas se aprecian suavizadas y totalmente vegetacionadas, con presencia de horizonte de suelo, lo que indica un conjunto inactivo, por lo tanto no hay señal alguna de abastecimiento hacia el área (Fig.37).

Dunas longitudinales antiguas

Estas se ubican entre los valles de los ríos La Ligua y Petorca, al Este de la unidad de dunas en patrón aklé, en el Campo de Dunas Sur (Fig. 2 y 12). Se presentan colonizadas por vegetación, separadas por corredores de algunos metros de profundidad y orientadas en el sentido del viento eficaz (Fig. 39).

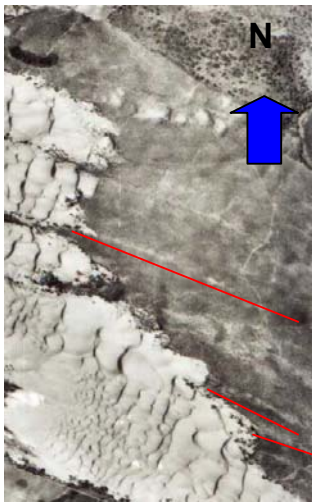


Fig.39: Campo de Dunas Sur. Dunas longitudinales antiguas.

Pulso 2: Está integrado por las dunas parabólicas medias, que se observan como un remanente sobre la terraza costera alta. Estas dunas están cubiertas prácticamente en su totalidad por el pulso 5 (Fig.37). Su cobertura vegetal es parecida a la del pulso 2 del Campo de Dunas Norte, pero más densa. Presenta un incipiente desarrollo de suelo y no se aprecian vertientes de precipitación activas, sin embargo en algunos sectores la presencia de *ripples marks* indica algún tipo de abastecimiento de arena proveniente del pulso 5.

Cabe destacar que al igual que en el campo dunar norte la orientación también difiere entre los pulsos 1 y 2, además de existir una diferenciación morfológica entre ambos y las mismas condiciones en cuanto a la vegetación, que en el Campo de Dunas Norte. La superposición de este pulso sobre el pulso 1 no es observable debido a las condiciones presentes en el terreno que dificultan el reconocimiento de límites claros entre uno y otro pulso.

Dunas parabólicas medias Campo de Dunas Sur

Esta unidad es un remanente de dunas de mayor antigüedad que las unidades colindantes (Fig. 41). Perdió su conformación dunar original y en su extensión se encuentra recubierta por la unidad de patrón aklé sur. Posee un desarrollo incipiente de suelo (Fig.40). La denominación de *medias* se utiliza solamente para establecer una diferenciación temporal con las unidades actuales.



Fig.40: Campo de Dunas Sur. Morfología actual de dunas parabólicas medias.



Fig.41: Acercamiento de foto aérea. Morfología de dunas medias parabólicas

Pulso 3: Se conforma por las formas upsiloidales representativas de este pulso. Se desarrollan en la sección norte de la terraza baja (Fig.37). Estas formas presentan diferencias con la unidad inmediatamente vecina (Pulso 5), que se traducen en la coloración más oscura de sus arenas, lo que indica una diferencia en los componentes sedimentológicos, y por tanto una diferencia

generacional, con el conjunto vecino (Fig.42 y 43) . No se aprecian vertientes de precipitación activas. En cuanto a la cobertura vegetal, es menor que en el pulso 2, pero mayor que en el pulso 5. Por sus características este pulso podría considerarse como homólogo al pulso 2.



Fig.42: Campo de Dunas Sur. Dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales.

Dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales

Presentan las mismas formas que en el Campo de Dunas Norte, Se ubican en la zona distal de la unidad de dunas en patrón aklé en el Campo de Dunas Sur, donde su orientación es SW-NE, difiriendo de la orientación general que presentan las dunas en este campo. Esto último dado que el vector viento proveniente del suroeste se refracta al rodear la punta rocosa de la Bahía de La Ligua, dividiéndose en dos corrientes que difieren en dirección, una de ellas se canaliza por el río Petorca y la otra por el río La Ligua.



Fig.43: Campo de dunas Sur. Zona de contacto entre patrón aklé sur y dunas en aklé y rasgos upsiloidales.

Pulso 5: Esta constituido por un sistema de dunas en patrón aklé con una evidente disposición transversal y sobreyace en parte al sistema sur (Fig.44). Además se presenta como un macizo activo y desprovisto de vegetación

alguna, donde se pueden observar distintos grados de compresión (Fig.37). Las áreas que presentan una menor longitud de onda generalmente se encuentran asociadas a las mayores pendientes, donde las arenas son arrastradas a menores distancias. En su zona proximal las formas barjánicas se confunden con el desarrollo del sistema aklé. No presenta vegetación alguna. A simple vista en terreno se aprecian vertientes de precipitación con una alta actividad y la existencia de ripple marks en prácticamente toda su extensión.

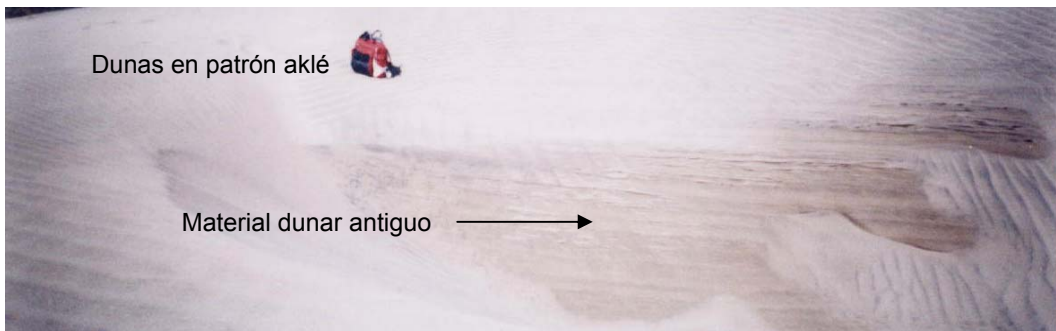


Fig. 44: Campo de dunas Sur. Material dunar remanente

Dunas en patrón aklé

Se presentan en la misma disposición que en el Campo dunar norte (Fig.46). Se emplaza sobre la terraza costera alta y ocupa un área de cerca de tres kilómetros cuadrados dentro del sistema (Fig. 45). El frente transgresivo presenta menor altura que en el campo dunar norte y al entrar en contacto con la unidad de dunas longitudinales antiguas avanza sobre ésta. En esta unidad se presentan las formas de barjanes aislados y dunas anidadas (Fig.48) distribuidos de manera errática.



Fig.45: Campo de Dunas Sur. Superposición de formas parabólicas



Fig. 46: Campo de Dunas Sur. Morfología de dunas en patrón aklé.



Fig 47: Campo de dunas Sur. Contacto entre dunas en patrón aklé y dunas parabólicas medias.



Fig.48: Campo de dunas Sur. Duna anidada en patrón aklé.

Barjanes coalescentes

Se presentan al igual que en el campo dunar norte, asociadas al patrón aklé. Se ubican principalmente en las zonas donde existe una diferencia de pendiente, especialmente en los flancos laterales de la unidad mencionada, presentando una mayor compresión y también ocupando una mayor área dentro de la unidad del patrón aklé (Fig. 49).



Fig. 49: Campo de Dunas Sur. Morfología de barjanes coalescentes.

PERFIL DEL CAMPO DE DUNAS NORTE

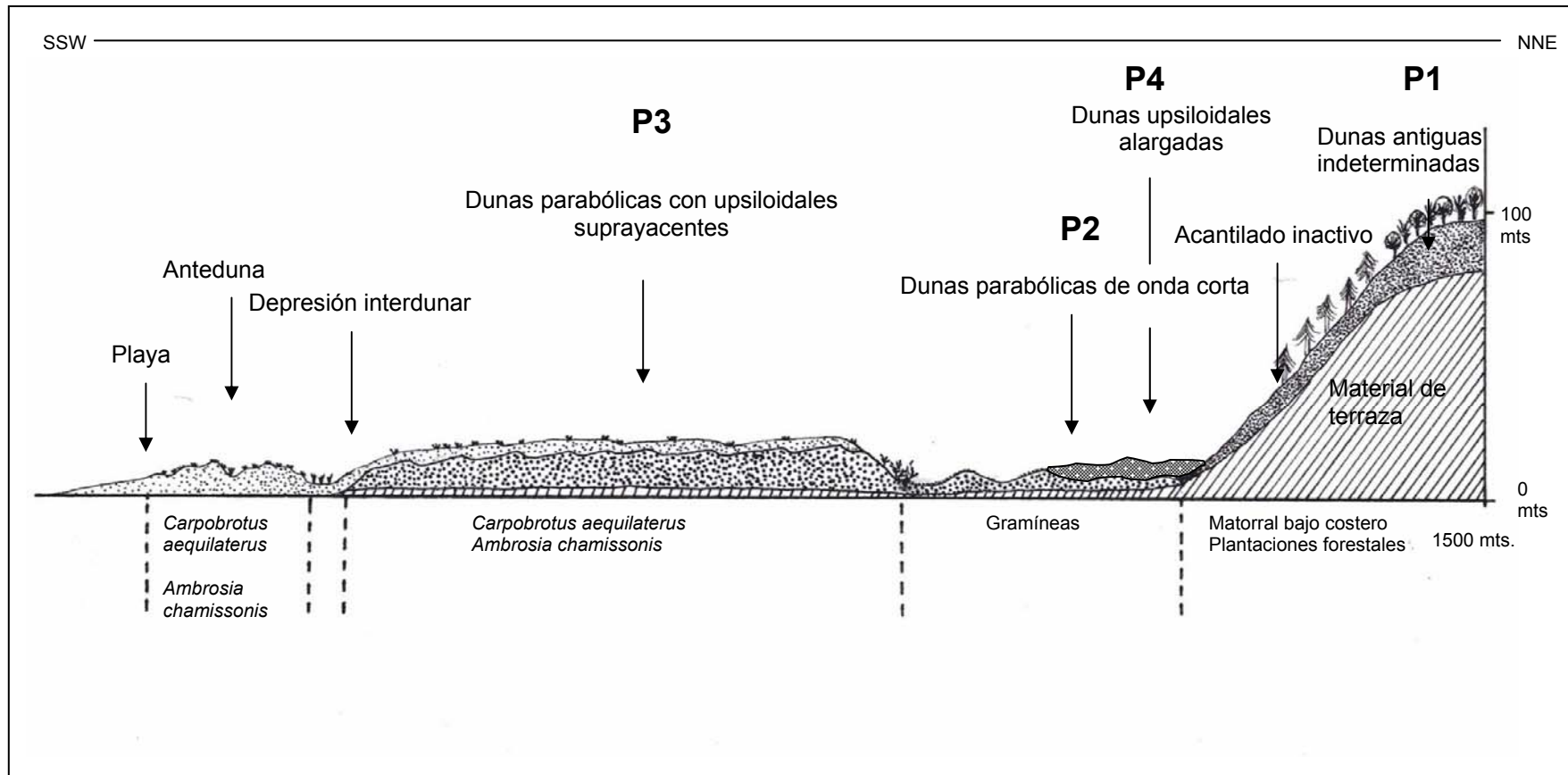


Fig. 50

PERFIL DEL CAMPO DE DUNAS SUR

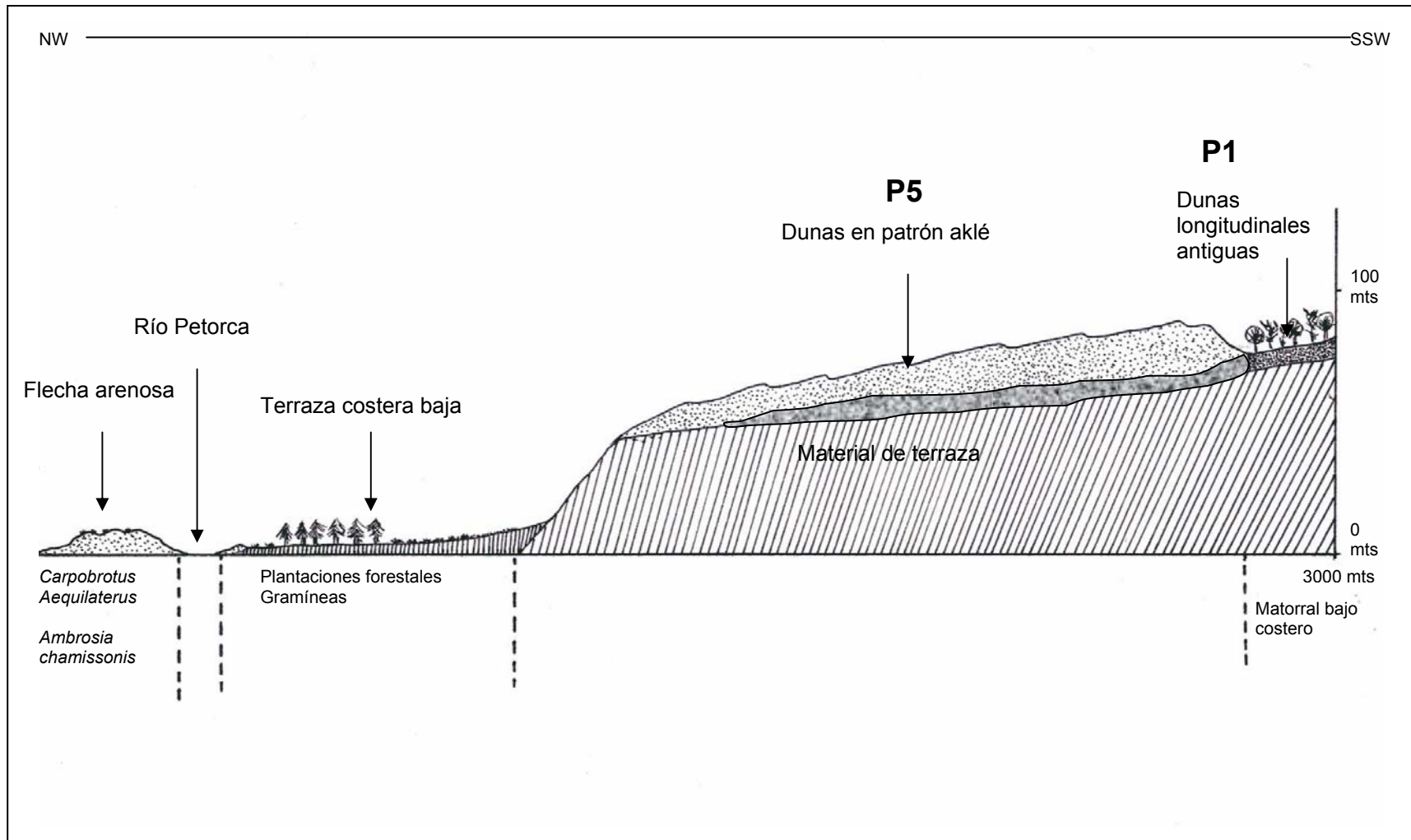


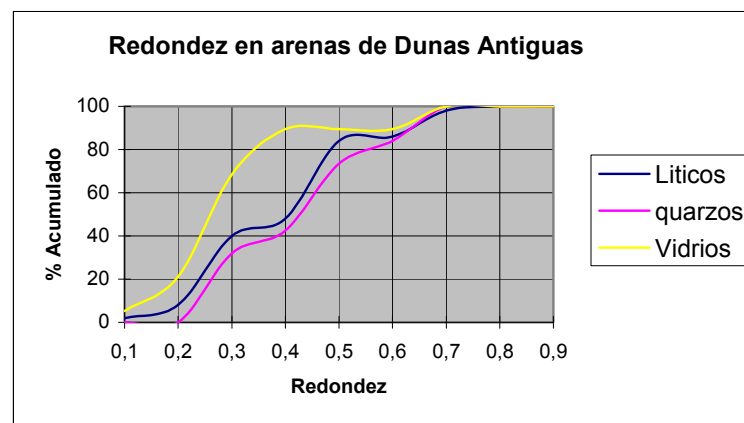
Fig. 51

Características de las arenas

Las arenas pertenecientes a los distintos pulsos formativos son parecidas entre sí. (Tabla 2). El grado granulométrico modal es arena fina y los colores son difícilmente diferenciables entre unos y otros, presentando una mayor oxidación, generalmente en los pulsos más antiguos. El material se encuentra compuesto esencialmente por líticos claros, cuarzos y vidrios volcánicos claros, a los que se suma una cantidad menor de ferromagnesianos y feldespatos, estos últimos en una proporción casi nula. El cuarzo y los líticos claros se encuentran en su mayoría parcialmente oxidados, mientras los vidrios y ferromagnesianos presentan muy pocos individuos oxidados. En cuanto a la redondez predominan los granos subredondeados. Si se consideran los conjuntos litológicos por separado los vidrios son los que muestran la redondez más baja, siendo en su mayoría subangulosos, con pocos individuos pulidos u oxidados. Mayor redondez presentan los cuarzos, con más dominio de granos subredondeados, en su mayoría pulidos u oxidados. Mientras la mayor redondez la presentan los granos líticos, tanto claros como oscuros, con mayor cantidad de granos subredondeados. Mientras en el caso de los cuarzos en su mayoría se observan pulidos y presentando algún grado de oxidación, especialmente los individuos líticos claros. La proporción de arena fina como grado modal es mayor en los pulsos 3 y 4, mientras la proporción de arena fina más baja se presenta en las dunas antiguas norte. En general, desde el punto de vista litológico, las proporciones existentes de líticos, cuarzos y vidrios no parecen ser grandes indicadores de diferencias entre pulsos formativos, por lo menos en la porción analizada a continuación. Comparando los distintos pulsos entre sí, se pudo observar lo siguiente:

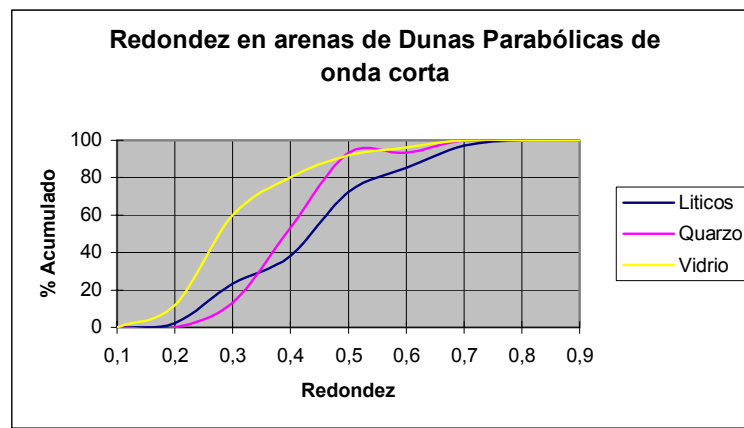
En el Campo de Dunas Norte, los granos pertenecientes al pulso de dunas antiguas (Ver Grafico 1), son morfológica y litológicamente similares a los del resto de las dunas y solo se diferencian por la mayor cantidad de granos oxidados y despulidos que presenta, lo que indica un mayor tratamiento eólico, además presenta el mayor porcentaje de material lítico. La mayoría de los granos de líticos y cuarzos se encuentran alterados, con sus caras visibles resquebrajadas, mostrando su mayor porcentaje granos subredondeados, mientras la menor porción de ferromagnesianos y vidrios se presenta con granos subangulosos

Gráfico 1



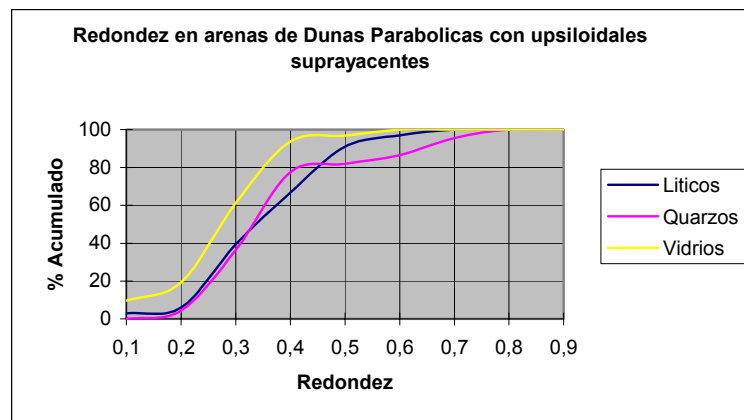
Las características litológicas se mantienen en el material de dunas parabólicas de onda corta (Pulso 2), y su modo granulométrico también es arena fina. Este material se presenta, en apariencia, más deteriorado, también con alto porcentaje granos resquebrajados, donde además se observa un alto grado de cohesión por algún tipo de cemento, entre granos de distinto tamaño. Presenta una menor cantidad de granos oxidados que las dunas antiguas, pero aún así uno de los mayores porcentajes del total de la muestra. En cuanto a la litología, los granos son en su mayoría líticos y vidrios, los primeros se encuentran en su mayoría oxidados y los segundos no presentan esta condición. La cantidad de granos pulidos es mayor que en las dunas antiguas. La mayor parte del material es subredondeado, a excepción de los vidrios que se presentan como subangulosos.

Gráfico 2



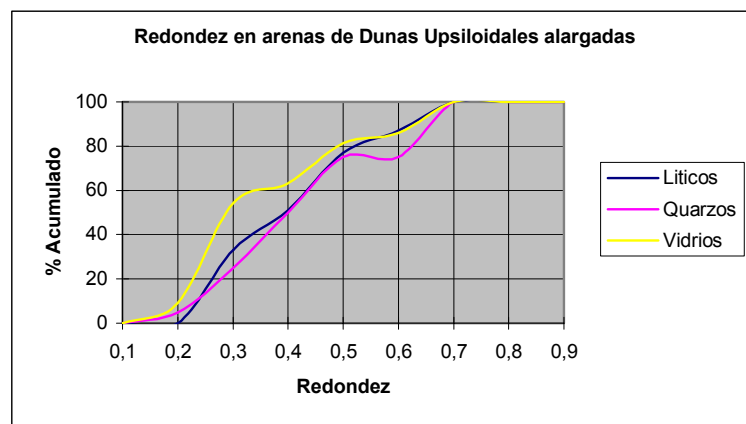
En el material perteneciente al Pulso 3, disminuye de manera drástica la cantidad de granos con presencia de oxidación, y también la cantidad de granos pulidos, siendo la menor de la muestra completa de arena fina. El material se aprecia más limpio y menos maltratado que los anteriores. Los mayores porcentajes se presentan en los líticos y los vidrios, mientras la presencia de ferromagnesianos y feldespatos es mínima. Existe también un menor grado de redondez de los granos, observándose una disminución de esta característica desde el material lítico, cuarzo y vidrios, respectivamente.

Gráfico 3



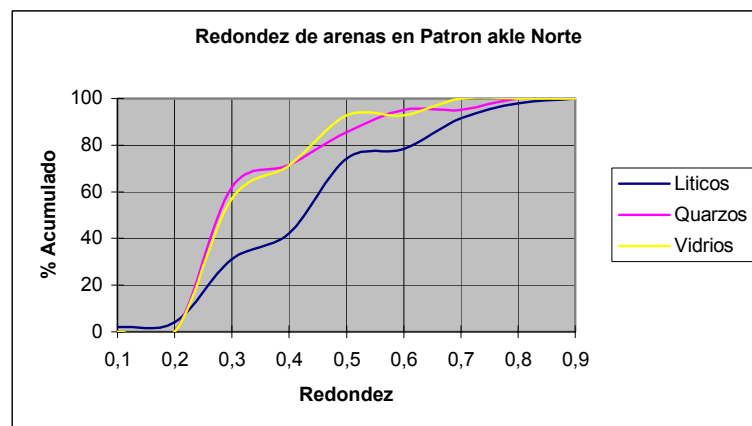
El material del pulso 4, se presenta con un mayor porcentaje de granos oxidados y pulidos, representando las mayores cantidades los materiales líticos y vidrios. Existe en este material el mayor porcentaje de granos redondeados de la muestra total, estos en su mayoría líticos y cuarzos, al igual que los pulsos anteriores la menor redondez la presentan los vidrios, los que en su mayoría se observan alterados. Considerando que el material de las dunas upsiloidales alargadas pudiese ser de menor antigüedad que los pulsos analizados anteriormente, llama la atención que posea índices de ferruginización más cercanos a los observables en el pulso 2 que los del pulso 3, sin embargo aún bajo estas condiciones se ha considerado como más reciente debido a algunos factores diferenciadores de mayor importancia para este estudio que serán explicados con mayor detalle posteriormente.

Gráfico 4



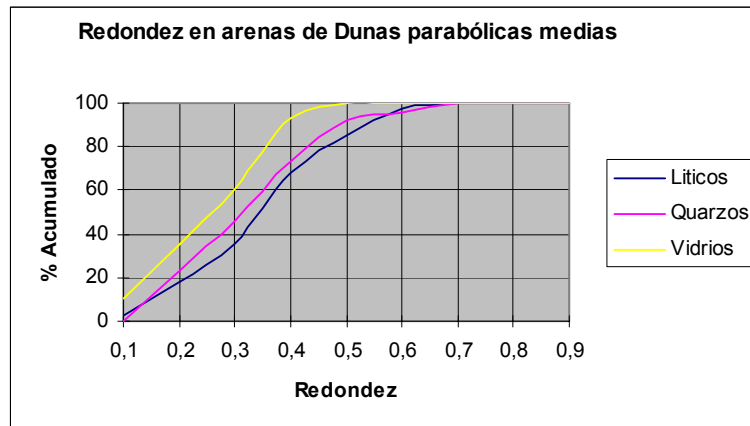
Finalmente se puede observar que en las arenas pertenecientes al pulso 5, existe una menor cantidad de granos oxidados y una mayor cantidad de granos pulidos. La mayor redondez la presentan los líticos, mientras los cuarzos y vidrios se presentan como subangulosos.

Gráfico 5



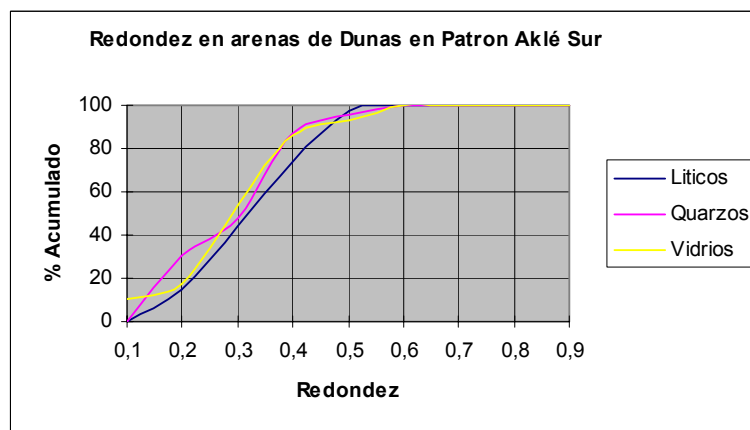
En el Campo de Dunas Sur, las muestras tomadas fueron dos. La primera representa las dunas parabólicas medias. En estas se puede observar una gran cantidad de granos oxidados, al igual que un alto porcentaje de granos pulidos. Predominan los líticos claros y los vidrios que se observan, en general, poco deteriorados. La mayor redondez la presentan los líticos y los cuarzos, particularmente redondeados en sus aristas.

Gráfico 6



En las arenas del pulso 5, se aprecia una menor cantidad de granos oxidados y pulidos, comparativamente al pulso anterior. La redondez mayor la presentan los líticos, mientras los cuarzos y los vidrios, se presentan con un mayor porcentaje de granos subangulosos. En ambos casos, en cuanto a la litología, el material muestra sus mayores porcentajes en los líticos y vidrios, a diferencia del campo de Dunas Norte, donde los porcentajes más altos eran representados por líticos y cuarzo.

Gráfico 7



Para hacer una análisis de mayor exactitud, se observó también el porcentaje de arcilla de cada una de las muestras tomadas en terreno, lo que derivó en la

observación de otras diferencias existentes entre cada uno de los pulsos existentes en el campo dunar. Granulométricamente, el porcentaje de arcilla presente en cada muestra es mayor proporcionalmente a la antigüedad del material. Desde el punto de vista litológico, las proporciones de líticos y vidrios, son similares para los dos pulsos analizados en la Campo de Dunas Sur, lo que parece indicar una misma fuente de abastecimiento de material, estos porcentajes y la mayor presencia de ferromagnesianos (entre un 37% y 18% aproximadamente) puede relacionarse a una mayor influencia estuarial en el desarrollo de estas dunas, a diferencia de lo que ocurre en el Campo de Dunas Norte, donde del total de muestras analizadas solamente dos, las arcillas pertenecientes a las dunas en patrón aklé y dunas upsiloidales alargadas, muestran esta proporción de ferromagnesianos. La presencia de este fenómeno en las arcillas de las dunas en patrón aklé pueden estar relacionados también a la cercanía e influencia del estuario Petorca -La Ligua, mientras la presencia de esta proporción en la segunda muestra no tiene una explicación aparente.

Características de las arenas del campo de dunas Norte y Sur , según pulsos.											
Muestra 125u	%Arc.	%A.F	%G. oxidados	%G. pulidos	% G. mate	%G.redond	% L	%Q	%V	%F	%Ferr
<i>Campo de dunas Norte</i>											
Antiguas Norte P1	16,6	41,43	70	59	38	14	50	19	19	10	2
Parabolicas onda corta P2	4,0	96,3	65	79	16	16	47	15	25	8	5
Parabolicas c/upsiloidales suprayacentes. P3	3,7	98,1	46	21	35	8	33	22	31	9	5
Upsiloidales alargadas P4	2,8	97,8	68	71	14	21	38	20	22	9	10
Akle Norte P5	2,4	88,8	46	62	37	19	47	21	14	8	10
<i>Campo de dunas Sur</i>											
Parabolicas medias P2	8,0	83,7	67	59	16	8	34	26	28	9	3
Akle Sur P5	6,0	86,3	45	52	13	6	34	23	28	6	9

Tabla2

Relación anteduna- sistema dunar

La anteduna es la causante y generadora del sistema de dunas consecuentes a ella. Esta unidad tiene una relación directa con el ancho de playa y la zona de rompientes, y consecuentemente el sistema de dunas que se ubica detrás de ella.

a) Zona Norte de la anteduna: La anteduna presenta tres cordones, mientras la playa se presenta más ancha producto del tipo de zona de rompientes, de *barras y surcos longitudinales*, lo que significa que las olas y los sedimentos que ellas transportan llegan con gran energía a la línea de costa.

b) Zona centro de la anteduna : Se observan dos cordones principales de menor anchura, la playa se presenta más estrecha , producto de la zona de rompiente, del tipo de *barra y rip transversales*. El oleaje de dirección N-E, llega casi transversalmente a la línea de costa, esto le otorga una gran energía al llegar a ella.

c) Zona Sur de la anteduna: Se pueden observar cuatro cordones de anteduna, lo que implica un mayor aporte de arenas desde la playa, a su vez esta se presenta más ancha, posee el mismo tipo de zona de rompientes que la zona centro.



Fig.52: Campo de Dunas Norte. La playa se presenta con mayor ancho, proporcional a la zona de rompiente, de *barra y rip transversal*.

Se puede deducir que el ancho de la anteduna con sus variaciones también sostiene una relación directa con las unidades ubicadas inmediatamente detrás de ella. Esta unidad presenta un mayor ancho en su extremo norte y sur, y se presenta de manera más estrecha y definida en el centro. En el Norte esto puede explicar el mayor grado de actividad que presentan las dunas parabólicas y en patrón aklé y rasgos upsiloidales, las que no poseen vegetación producto de los constantes aportes de arena que recibirían directamente desde la anteduna. En su extremo sur esta condición

representaría el mismo proceso de aportes de arena que en el extremo norte, ya que las dunas que se encuentran detrás de ella también presentan un alto grado de actividad y una baja densidad de vegetación, a excepción de las dunas lineales longitudinales, cuyo caso es especial y requeriría una observación más acuciosa.

El hecho de que la anteduna se presente más consolidada en su sección central se asocia directamente a la morfología de las dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes y su condición de mayor estabilidad, a causa de que estas recibirían menores aportes de arena que las unidades vecinas a él. Por lo tanto la relación playa - anteduna permitió que se asentará vegetación en las dunas parabólicas lo que les concede una estabilidad mayor. La unidad de dunas transversales probablemente recibe sus aportes desde la unidad de dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales ubicadas más al Oeste, producto de la refracción del viento. Las dunas parabólicas de onda corta y las dunas upsiloidales alargadas, reciben bajos o nulos aportes de arena, por su condición de "aislamiento" (Fig.2). Estas se encuentran encajonadas en su parte norte por la mayor altura de las dunas transversales, al Este por el acantilado inactivo y al Oeste por el macizo de dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes.

En cuanto al origen de los aportes de arenas de las unidades dunares ubicadas en el Campo de Dunas Sur, estos parecen relacionarse, en la actualidad, directamente con la existencia de la flecha arenosa y los aportes de sedimentos de los ríos en sus crecidas, que deja en su recorrido una serie de bancos laterales que deben aportar arenas a estas dunas en los períodos secos.

Los aportes de arena que recibe el Campo de Dunas Norte también son debidos al ambiente estuarial del Petorca-La Ligua, estos son arrastrados por la deriva litoral hacia el norte dando origen al sistema dunar.



Fig.53: Campo de dunas Sur. Sistema estuarial Petorca - La Ligua.

DISCUSION

Emplazamiento de los pulsos dunares y las influencias topográficas en su desarrollo.

Las formas parabólicas características de este sistema coinciden con las observaciones de **Araya - Vergara (1986)** quién determinó este patrón como predominante en líneas de costas oblicuas. El sistema dunar de Longotoma presenta en sí un proceso de acumulación del flujo arenoso con presencia de compresión debido a barreras topográficas, lo que se expresa en un patrón de acumulación en superposición o apilación, similar a lo observado por **Lancaster (1992)**, en el Gran Desierto de Mexico.

Según el modelo deducido por **Araya - Vergara (2005, comunicación personal)** y basado en las experiencias observadas en Atacama, existe una relación directa entre la antigüedad de los distintos pulsos y los grados de evolución en el *continuum* dunar. Esta relación se puede observar con mayor claridad en el esquema conceptual (Fig. 54).

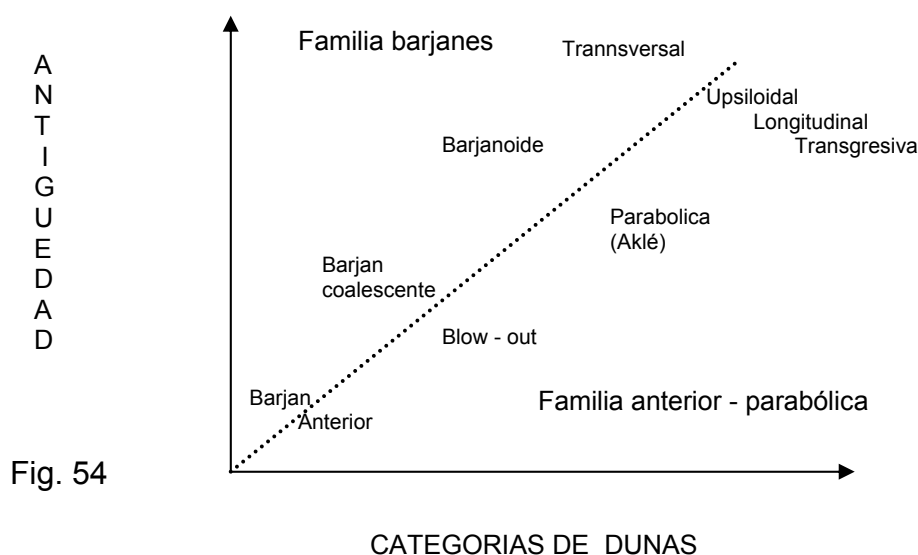


Fig. 54

Si esta relación fuera aplicada en el sistema de Longotoma podríamos observar que el Pulso 1 contendría las dunas con mayor evolución o al menos las más complejas. En el campo dunar norte las formas se presentan al menos más complejas dentro de este *continuum* conjugando elementos parabólicos y upsiloidales alternados, mientras en el campo dunar sur se cumple con el modelo presentándose las formas más evolucionadas dentro de la familia anterior – parabólica, considerando la antigüedad de este pulso. Con referencia a esto el lapso de tiempo transcurrido entre el pulso 1 y los demás pulsos debe haber sido amplio si se toma en cuenta la generación de las terrazas marinas observada por **Paskoff (1979)**. En ella se determinó que los depósitos marinos ubicados sobre la

terrazza (90 y 140 mts.) cercana al río Copiapó eran aparentemente pertenecientes al Pleistoceno. Esto es perfectamente homologable a los sedimentos del Pulso 1 donde las formas que se aprecian pudieron provenir de la acumulación de material proveniente directamente del antiguo curso del río Petorca, desde una duna anterior que posteriormente fue destruida. Incluso se puede pensar que estas dunas en su avance fueron ascendiendo por el acantilado inactivo, ya que se puede apreciar con una observación detallada la presencia de estas formas en el acantilado. Se pueden observar algunas formas parabólicas ascendentes en el sector del acantilado inactivo, homologables al tipo de dunas ascendentes descritas por **Tinley (1985)**.

La génesis y emplazamiento de las dunas longitudinales se podría relacionar con la acumulación de sedimentos al Norte del río La Ligua. Teóricamente puede haber existido una disposición o estructura similar a la apreciada en líneas de costa oblicuas mencionadas por **Araya – Vergara (1986)** en sus primeros estados de evolución.

En el pulso 2 la relación existente en el modelo no es aplicable totalmente. Las formas lineales longitudinales se acomodan plenamente al modelo, pero las formas parabólicas no son precisamente las de mayor evolución dentro del *continuum* dunar. Este fenómeno puede tener su explicación en la ubicación de estas dunas dentro del sistema. Se puede observar a simple vista que estas formas fueron cubiertas por el pulso 3. Esta aseveración se respalda por la existencia de remanentes de las parabólicas en los sectores más llanos de ese pulso. Por la misma razón los límites de este pulso no son identificables, ni tampoco las formas que las anteceden. La presencia del acantilado inactivo como barrera topográfica, puede haber sido un factor determinante en relación a la ubicación y orientación de las parabólicas de onda corta, aún sin existir un “corredor de viento”, como en el presente. Las dunas parabólicas que se encuentran visibles y presentan orientación N-S, se encuentran suficientemente cerca del acantilado, como para que este influya en su morfología y disposición.

Finalmente cabe mencionar que estas formas se pueden asociar también con los distintos cordones de anteduna que existen. Obviamente la formación del pulso 2 se relacionaría al cordón ubicado a sotavento de la playa, y barlovento de la depresión interdunar, siendo éste el cordón más antiguo. En el caso de las dunas existentes en el Campo de Dunas Sur, su morfología también se asocia con formas parabólicas. En ellas también se puede observar una leve diferencia en cuanto a su orientación con las dunas más recientes. Tal diferencia puede ser explicada por la influencia de los valles del Río Petorca y La Ligua, que en ese entonces no deben haber tenido la misma relación de emplazamiento que actualmente tienen con el sistema estuarial. Además de esta observación se puede deducir que la ausencia actual de anteduna en el Campo de Dunas Sur puede deberse a la destrucción de ella por las crecidas estacionales de ambos ríos, lo que también implica que se desarrolló un proceso de reconstrucción en los periodos de acumulación, lo que daría origen a las variadas formas presentes en este campo. O bien parece lógico que también se deba a periodos donde los

ríos desembocaban de manera separada uno de otro, con lo que las formas presentes en el Campo de Dunas Sur pueden relacionarse directamente a la flecha litoral donde se aprecia una formación de anteduna.

En el pulso 3 se presentan las formas parabólicas y upsiloidales, formando un conjunto complejo hablando en términos de sus evolución, lo que podría concordar con el modelo expuesto por **Araya- Vergara (2005, comunicación personal)**. Sus límites no se identifican con los pulsos vecinos, sino por la diferencia de vegetación. Claramente este pulso, en el campo norte, se encuentra cubierto por el pulso 5, y avanzando lentamente sobre el pulso 2.

En cuanto al Pulso 4, este se diferencia en su génesis de los demás pulsos. Por lo tanto un análisis de su evolución versus su antigüedad no es posible. La denominación del pulso 4 como tal se debe principalmente a las condiciones de orientación, vegetación, y la presencia de ripples marks aún cuando el abastecimiento de arena es casi nulo. La orientación y la morfología del pulso 4, indica que existió o existe un aporte de arena escaso que probablemente proviene desde la zona distal del actual patrón aklé y rasgos upsiloidales, como tributarias de las dunas transgresivas. Desde ese punto la arena se moviliza en dirección del viento eficaz, produciendo una migración a sotavento de las dunas transgresivas y la secundarización de las formas preexistentes. Este proceso es similar al descrito por **Araya – Vergara (1985)** en líneas de costa oblicua, donde se aprecia la elongación de las formas generalmente desde la formación de blow out a parabólicas y desde estas últimas a upsiloidales. Por esta última razón se denominó como pulso 4, cuando no necesariamente se formaron de manera íntegra posteriormente al pulso 3. La fuerza del viento eficaz que debió ser necesaria para la formación de las dunas upsiloidales alargadas, solo puede ser concebida por la acción de un “corredor de viento” que produce un efecto similar al “*efecto embudo*” mencionado por **Araya –Vergara (2001)** donde se mantiene la actividad a lo largo de un “*valle de derivación*”. Este efecto implica que el macizo que representa el pulso 3 debió ser anterior a la morfología actual del pulso 4, para formar tal corredor. Además esto se puede aplicar el conocimiento obtenido desde las observaciones de **Van Boxel et al (1999)** y **Van Dijk et al (1999)** en dunas transversales y el desarrollo de su perfil, donde se concluye que “el viento unidireccional produce un crecimiento vertical despreciable, con migración constante de las crestas” (**Araya- Vergara, 2001: 55**). El proceso de migración no excluye un proceso de secundarización de las formas existentes.

El pulso actual (Pulso 5) en el Campo de Dunas Norte sobreyace a todos los pulsos anteriores y por lo tanto se denomina como el pulso más reciente. Debería presentar las formas menos evolucionadas de todo el conjunto, lo que es cierto si se considera que las formas existentes en este sistema son de mayor complejidad o bien se presentan de manera compuesta en sus elementos.

En este pulso se puede apreciar a simple vista la diferencia de vegetación con los pulsos vecinos y por tanto sus límites son fácilmente identificables. En la zona proximal del campo dunar se encuentra en los lugares más altos expresándose

como una estructura en aklé típica con algunos elementos barjánicos y dunas anidadas, conformación similar a la observada por **Araya - Vergara (2001)** en el Erg Sur de Atacama. En su zona distal se asocia genéticamente a formas upsiloidales y parabólicas de gran tamaño, lo que se relaciona a la relación playa - anteduna y un mayor aporte de sedimentos. Además en este sector no hay ningún obstáculo que impida el avance de la duna o bien reduzca la capacidad de la arena para llegar a mayores distancias. No existen grandes diferencias topográficas, con excepción del extremo sur del campo de dunas. Cabe mencionar que en una observación más acuciosa se pudieron observar algunos elementos lineales dentro de esta unidad que no fueron tomados en cuenta para la escala de este estudio.

Acerca del origen de las formas

Las distintas formas existentes en el campo de dunas de Longotoma evidencian la existencia de un claro proceso de *secundarización*. Prácticamente todas las unidades dunares son asociadas a un patrón aklé, por lo tanto es aplicable lo expuesto por **Araya- Vergara (2000, comunicación personal)**. Según este autor existen distintas familias de dunas que se basan principalmente en categorías de cambio de forma por redistribución de masa y que pertenecen a un *continuum dunar*. Esto se puede aplicar al origen y proceso de formación de las unidades existentes dentro del área de estudio.

En el caso de las dunas lineales longitudinales la principal explicación a su morfología se asocia al desarrollo de dunas upsiloidales generadas desde la anteduna, que recibe aportes constantes de arena desde la playa a través de los corredores de deflación. Estas upsiloidales se desarrollan coalescentemente a la anteduna, y es probable que la generación de las lineales longitudinales se relacione a la elongación extrema de las upsiloidales en dirección paralela al viento, alcanzando un mayor desarrollo por la llanura del sector. Aún con esta explicación queda cierta inseguridad en cuanto al supuesto proceso de formación, ya que esta unidad difiere en su orientación del resto de unidades dunares cercana a ellas, inclusive la anteduna. Es por esta última razón que se considera no como una formación reciente sino como una unidad de mayor antigüedad. Es importante mencionar que existe una diferencia notable, en relación a la morfología y la génesis, entre la unidad mencionada y las dunas parabólicas de onda corta, aún cuando se consideran como pertenecientes a un mismo pulso. Estas últimas se formaron probablemente a partir de un conjunto de dunas transversales al viento efectivo y la posterior generación de *blow ows* en ellas que evolucionaron a dunas parabólicas. Este proceso de transformación también se registra en las observaciones de **Araya -Vergara (1986)**.

Las principales características atribuidas a estos sistemas coinciden plenamente con las condiciones observadas en Longotoma. En general se aprecian sistemas asociados a patrones parabólicos, en un estado cuasi- estacionario. Cabe mencionar que las formas parabólicas evolucionan a longitudinales y upsiloidales, tal como se observa en el sistema en estudio.

En el caso de las dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes, la morfología presente podría haberse desarrollado a través de un proceso de *secundarización*, que permitió que desde la anteduna se aportaran sedimentos de manera sistemática, formando *blow-outs* que consecuentemente se transformaron en parabólicas que se distribuyeron de manera coalescentes unas con otras. Estas últimas probablemente se estabilizaron en ciertos sectores a causa de la vegetación, mientras en los sectores desprovistos de ella las alas de las parabólicas se fueron alargando hasta formar dunas del tipo upsiloidal, desarrollándose sobre las primeras. El proceso de alargamiento anteriormente mencionado también existe en la génesis de las dunas con patrón aklé y rasgos upsiloidales. Esto parece convincente al tomar en cuenta que la estructura general del sistema se relaciona a las formas parabólicas.

También llama la atención la singularidad morfológica de las dunas upsiloidales alargadas y las parabólicas coalescentes que a su vez contrasta con su relación de vecindad, ya que aún cuando parecen ser contemporáneas sus formas no comparten un proceso de continuidad conocida y demostrada de unas con otras. El único origen aparente de las parabólicas coalescentes parece provenir de las mismas upsiloidales alargadas. Aparentemente estas últimas, debido a la compresión, por el aumento de pendiente, se acercaron unas a las otras dejando la sección final de ellas en contacto, donde posteriormente se produjo un suavizamiento del cuerpo de la duna, quedando en apariencia la morfología de dunas parabólicas coalescentes. Este proceso de suavizamiento lo menciona **McKenna Newman (2000)**, quién sugiere que los vientos moderados conducen a la erosión y aplanamiento de la duna.

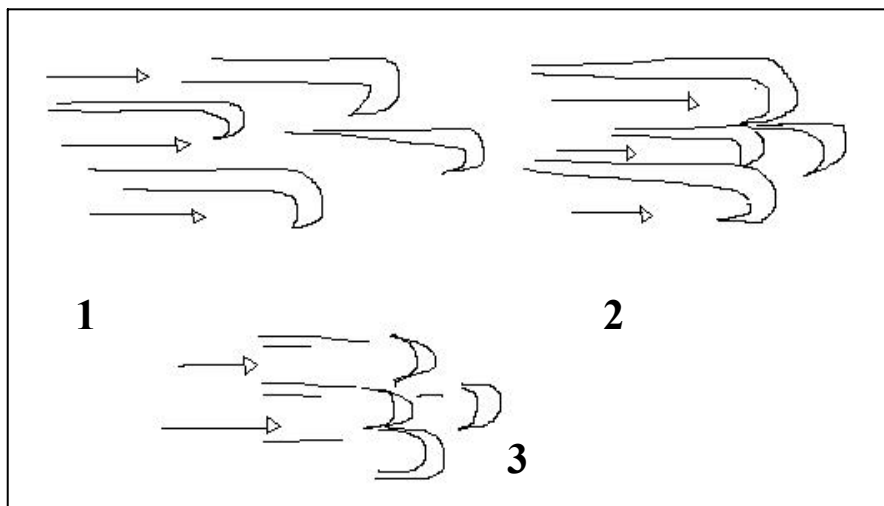


Fig. 55

Finamente cabe mencionar que la existencia de barjanes y formas barjánicas coalescentes se asocia principalmente al patrón aklé. Esta misma asociación otorga la explicación de su ubicación y génesis dentro del sistema. Esta última

puede atribuirse claramente a la reversión de las crestas de las parabólicas producto de la coalescencia y la fuerza del viento efectivo.

Análisis morfométrico y granulométrico

En el análisis de las arenas y arcillas no se observa un comportamiento particular que logre diferenciar de sobremanera los pulsos más antiguos de los más recientes excepto por la cantidad de arcilla presente en cada muestra y la cantidad de granos oxidados. La cantidad de granos oxidados aumenta en relación de la antigüedad de los pulsos a excepción del pulso 4 en el campo de dunas Norte. Esto puede tener su explicación en una mayor distancia recorrida por los granos de arena y su consecuente exposición a los procesos mecánicos propios de la traslación de las partículas, además de los cambios climáticos. Los pulsos 1, 3 y 5 muestran una mayor cantidad de granos maté, esto demuestra un mayor tratamiento eólico si se compara con los pulsos restantes. En cuanto a la composición petrográfica llama la atención que el único pulso que se diferencia del resto es el pulso 5. En este pulso es mayor la cantidad de líticos y cuarzos a diferencia del resto de las muestras donde la mayoría de granos son líticos y vidrios. La cantidad de ferromagnesianos es significativamente pequeña en los pulsos 1, 2 y 3 en el Campo de Dunas Norte, más en los pulsos restantes se eleva la cantidad de granos presentes en la muestra, tanto en el análisis de arenas, como en el de arcillas. Los ferromagnesianos se asocian a un origen volcánico, por lo tanto este material es resultado de un arrastre fluvial, además de esto la presencia de granos redondeados en los pulsos 4 y 5 comprueban la influencia del estuario Petorca- La Ligua en la formación de las dunas. La cantidad de ferromagnesianos aumenta de manera notable en las muestras de arcilla.

Grados de estabilidad

La estabilidad del sistema dunar se encuentra condicionada a diversos factores, como variables intervinientes podríamos considerar la cobertura de vegetación, la antigüedad de cada una de las unidades, así como también el grado de intervención humana en el sistema, que condiciona la permanencia de tal estado.

En el caso específico de las unidades de dunas antiguas las condiciones existentes en ellas proporcionan estabilidad a los sedimentos, por la existencia de una capa de suelo, aún así en ocasiones aparecen indicios de movimientos de arena en los años secos y cuando la velocidad del viento es fuerte.

En cuanto a las dunas parabólicas de onda corta, upsiloidales alargadas y parabólicas con upsiloidales suprayacentes el grado de actividad es distinto. En el caso de las dos primeras unidades, la vegetación se presenta distribuida a través de sus crestas y vertientes de precipitación, lo que indica la tendencia a la estabilización de estas unidades. En cuanto a las dunas parabólicas con upsiloidales suprayacentes, estas muestran una alta cobertura de vegetación, pero más asociadas a especies arbustivas en asociación con vegetación

psamófito haciendo juego con vertientes que presentan ripple marks. La presencia y distribución de la vegetación existente disminuye la movilización de arenas, tendiendo a la estabilización del macizo. Aún así esta unidad presenta un avance sobre la unidad de dunas parabólicas de onda corta, aunque no se tiene claridad acerca de si este proceso es contemporáneo al avance de otras unidades dunares.

Las unidades dunares en patrón aklé, upsiloidales y transgresivas presentan nula o baja densidad de vegetación, lo que concede a las arenas la capacidad de movimiento sin grandes obstáculos, esto nos da a entender que estas unidades aún se encuentran en actividad y recibiendo aportes constantes de arena, lo que no permite que la vegetación se asente en ellas de manera prolongada.



Fig. 56: Campo de dunas Norte. Dunas en patrón aklé. *Ripple marks*.



Figura 57: Campo de Dunas Norte. Dunas en patrón aklé. Deterioro de la vegetación.

La presencia de *ripple marks* en sus vertientes de deflación, demuestra la existencia de aportes de arena hacia las dunas, cuando las condiciones meteorológicas son propicias, mientras las vertientes de precipitación activas indican la acumulación a sotavento. Estas unidades presentan alto grado de actividad, presentándose avance de algunas unidades dunares sobre otras. Este es el caso de:

- a) Dunas en patrón aklé y rasgos upsiloidales sobre dunas transgresivas.

- b) Dunas en patrón aklé sobre dunas antiguas longitudinales (Campo de Dunas Sur).
- c) Dunas en patrón aklé sobre dunas parabólicas medias (Campo de Dunas Sur).

El caso de las dunas lineales longitudinales es especial, esta unidad presenta una cobertura vegetal más asociada a los afloramientos de agua que al grado de estabilidad que podría presentar, por esta razón se hace sumamente complejo determinar su grado de estabilidad o actividad.



Fig. 58: Campo de dunas Norte. Distribución espacial de unidades dunares al Norte del río Petorca.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El campo dunar de Longotoma presenta una serie de características singulares, las unidades dunares aún presentan actividad lo que las hace **altamente** sensibles a cualquier tipo de intervención, más aún a algún tipo de urbanización. El hecho de que existan algunas unidades que se presentan de alguna manera estables no significa de ningún modo que el sistema en su totalidad, como conjunto, lo sea. Esto quiere decir que las unidades dunares se relacionan tan estrechamente entre sí que aún se producen interacciones en cuanto aportes de materiales de una unidad a otra, además de recibir los aportes producto del estuario Petorca - La Ligua.

En general el sistema presente en el campo dunar está conformado por una estructura aklé con presencia de algunos factores diferenciadores. El sistema dunar en el Campo de Dunas Norte no presenta avances en las unidades dunares ubicadas hacia el Este producto del obstáculo que impone el acantilado inactivo, aún así no se sabe con seguridad si las unidades que las anteceden en su avance frenarán su movimiento al encontrarse con este o proseguirían su movimiento cubriéndolo paulatinamente. El obstáculo que representa el río Petorca, sirve de "elemento de transporte" de sedimentos, mediante el cual se produce un fenómeno de *feed back* de las arenas hacia el estuario y de este último hacia las dunas. En el Campo de Dunas Sur el avance y desarrollo de las dunas es lento, pero aún así es importante decir que cualquier acción podría producir una removilización de arenas, lo que ya se presenta en algunos sectores de las unidades de dunas antiguas.

En cuanto al abastecimiento de arenas, este es principalmente de origen andino. La importancia del sistema estuarial radica en que presenta una relación de abastecimiento con las unidades dunares inmediatamente vecinas a él.

La determinación de los pulsos comprueba la hipótesis inicial. Estos pulsos se generarían por periodos de actividad (en relación al abastecimiento de arena) seguidos de período prolongados de inactividad. Este fenómeno puede deberse a cambios climáticos, cambios eustáticos, diferencia en la carga sedimentaria fluvial o cambios en la relación litoral afuera- sistema fluvio- estuarial, por nombrar algunas posibles causas. Pero finalmente cabe mencionar que la determinación de la edad de los pulsos y sus causas reales debe determinarse en un estudio de mayor profundidad. La única herramienta para comprobar la diferenciación y simultaneidad de los pulsos es el análisis geomorfológico realizado.

Antecedentes legales

Normativa existente

El espacio litoral es un ambiente geográfico único, donde se localizan abundantes recursos naturales, culturales e incluso científicos debido a la existencia de ecosistemas de alta fragilidad. Es debido a la presencia de tantas condiciones especiales que el uso sobre el borde costero es complejo y requiere de ciertas atenciones especiales. A nivel internacional muchos son los organismos, en especial los relacionados a los países desarrollados, que se han ocupado en el estudio de la gestión en el área litoral, debido a las experiencias en pérdidas de recursos, sobreutilización o mal uso del espacio costero, por esta razón la tendencia mundial es la de la protección de la costa.

Varios estudios han confirmado que la mala administración y gestión del área litoral se debe principalmente a la falta de información con respecto a los sistemas naturales de parte de los organismos encargados en las tomas de decisiones, al igual que la visión del manejo a corto plazo sobre la planificación a largo plazo y finalmente la falta de recursos para la realización de estudios concernientes a sistemas litorales complejos.

En Chile, la ambigüedad de las leyes y políticas no satisfacen la necesidad de una relación complementaria entre hombre y medio, armónica y equilibrada donde ambas partes reciben más beneficios que desventajas.

Hace no mucho la visión común respecto de las dunas en Chile, era considerarlas como un agente invasor, por lo que originalmente su estudio apuntaba a encontrar la mejor manera de detener su avance para posteriormente ser utilizadas como áreas para plantaciones forestales.

El sector de las dunas de Longotoma, las dunas modernas y antiguas, se rige por la “Modificación del Plan Intercomunal de Valparaíso, comunas de Puchuncaví, Zapallar, Papudo, La Ligua. Satélite Borde costero Norte” en ella se considera al campo dunar, incluyéndose el acantilado inactivo, como sitios de expansión urbana (Ver Tabla 3 y Fig.57). En la circular 45 (DDU 26) del MINVU, respecto de la elaboración de planos reguladores intercomunales, se reconoce la presión que se ejerce sobre el territorio y por ende sobre sus recursos naturales, por esta misma razón se recalca la necesidad de disponer de una visión de desarrollo que incorpore la dimensión territorial. Además plantea como uno de sus objetivos la inserción armónica de los asentamientos humanos en su medio ambiente. En su artículo de áreas que requieren protección se menciona explícitamente que se deben tomar en consideración aquellas en las que existen recursos de importancia, como de turismo y paisaje; de valor ambiental, tales como las áreas de valor natural, silvestres protegidas, áreas costeras, riberas y cauces; y/o áreas de interés histórico y/o cultural. Además menciona “dentro de este tipo de áreas, especial mención merece la zona costera, constituida por playas, acantilados, ojos de agua, y dunas, que llevan asociada una importante

vida silvestre que se debe preservar, y que a la vez constituyen un recurso paisajístico de gran relevancia en el país”.

En cuanto a los contenidos del plan este explicita la elaboración de una base de datos que contenga las características del medio natural (geomorfología, hidrología, etc.), así como el patrimonio ambiental natural, que se desee proteger. Sin embargo en la memoria explicativa de la MPRIV no se menciona en ningún capítulo la existencia de las dunas de Longotoma ni el humedal costero de la desembocadura Petorca – La Ligua. Aún cuando este campo mantiene 766 há de superficie (aproximadamente 18 Km²). Esto demuestra el carácter indicativo de las leyes y la falta de consideración o conocimiento por parte de las autoridades encargadas de las dinámicas naturales y los efectos que posteriormente pueden afectar no solo al equilibrio natural de la zona, sino también a los potenciales habitantes de tales espacios.

Dentro de este ámbito es que la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, establece en su Artículo 11 que los proyectos o actividades susceptibles a causar un impacto ambiental deben someterse a un sistema de evaluación de impacto ambiental, estos incluyen planes regionales de desarrollo urbano, planes intercomunales, etc., todo aquello que afecte de alguna manera el valor paisajístico o turístico de una zona, al igual que la alteración de sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y en general los pertenecientes al patrimonio cultural. De este mismo modo en su Artículo 42 afirma que los organismos públicos encargados por la ley de regular el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en un área determinada debe exigir la presentación y cumplimiento de planes de manejo que aseguren su conservación, que deben incluir la mantención de caudales de agua y conservación de suelos; la mantención del valor paisajístico y la protección de especies en peligro de extinción o vulnerables. De la misma manera en el anexo al instructivo N° 6064 se señalan los contenidos de la evaluación de impacto ambiental de los instrumentos de planificación territorial, respecto del valor ambiental del territorio susceptible a ser afectado, como también de la alteración significativa del valor paisajístico y turístico de una zona. Todas estas disposiciones legales, no han sido efectivas a la hora de asignar áreas de protección o restricción en el campo dunar de Longotoma.

En cuanto a La Política Nacional de Uso de Borde costero, que considera el espacio costero como un recurso natural limitado, esta define y determina restricciones frente a unidades espaciales tales como la playa, las bahías y los golfos considerándolos como espacios que necesitan resguardo, sobre los cuales debe existir, por parte de los organismos fiscalizadores, un debido conocimiento para asignarles los distintos tipos de usos de manera de llevar a cabo un adecuado manejo que conlleve a la armonía de la dinámica natural con las necesidades humanas de expansión y satisfacción de las necesidades. A pesar de esto la política no considera sistemas de especial complejidad como los sistemas dunares, frente a los cuales no tiene ningún efecto dejando estos sistemas con cierta vulnerabilidad ante herramientas de manejo tales como planes






reguladores comunales o intercomunales. Esta ley regula, por ejemplo, los asentamientos humanos y caletas pesqueras ya existentes, pero al parecer es inefectiva ante planes de urbanización a realizarse. Estas herramientas (planes reguladores) están dedicadas principalmente al ordenamiento de los espacios urbanos no a los espacios interurbanos.

Tabla 3

Zonificación	Usos permitidos	Subdiv. Predial mínima	Densidad máxima
Area de extensión urbana 2	Vivienda, Equipamiento comunal y vecinal de todo tipo, talleres artesanales inofensivos.	600 m2	100 hab/há
3	Vivienda y vecinal de turismo, culto, deportes, cultura, comercio y áreas verdes.	1000 m2	60 hab/há
4	Vivienda, equipamiento intercomunal y vecinal de turismo, deporte, culto, cultura, comercio y áreas verdes	5000m2	24hab/há
Area interés silvoagropecuario	Agrícola, forestal , ganadero y la construcción de la vivienda del propietario e instalaciones complementarias	2 há	No hay
Zonas de restricción De faja costera (80 metros de playa) 1	Solo compatibles con el equipamiento de esparcimiento, deporte y pesca artesanal	No hay	No se permite
de protección por valor natural y paisajístico 2	No se permite ningún uso ni edificación	No hay	No se permite
De protección ecologica 3	Esparcimiento y Turismo, actividades científicas, culturales, educativas y deportivas Los proyectos inmobiliarios deben ser evaluados por un Estudio de Impacto Ambiental	No hay	No se permite
De zona forestal 4	Se prohíbe toda construcción	10 há	No se permite

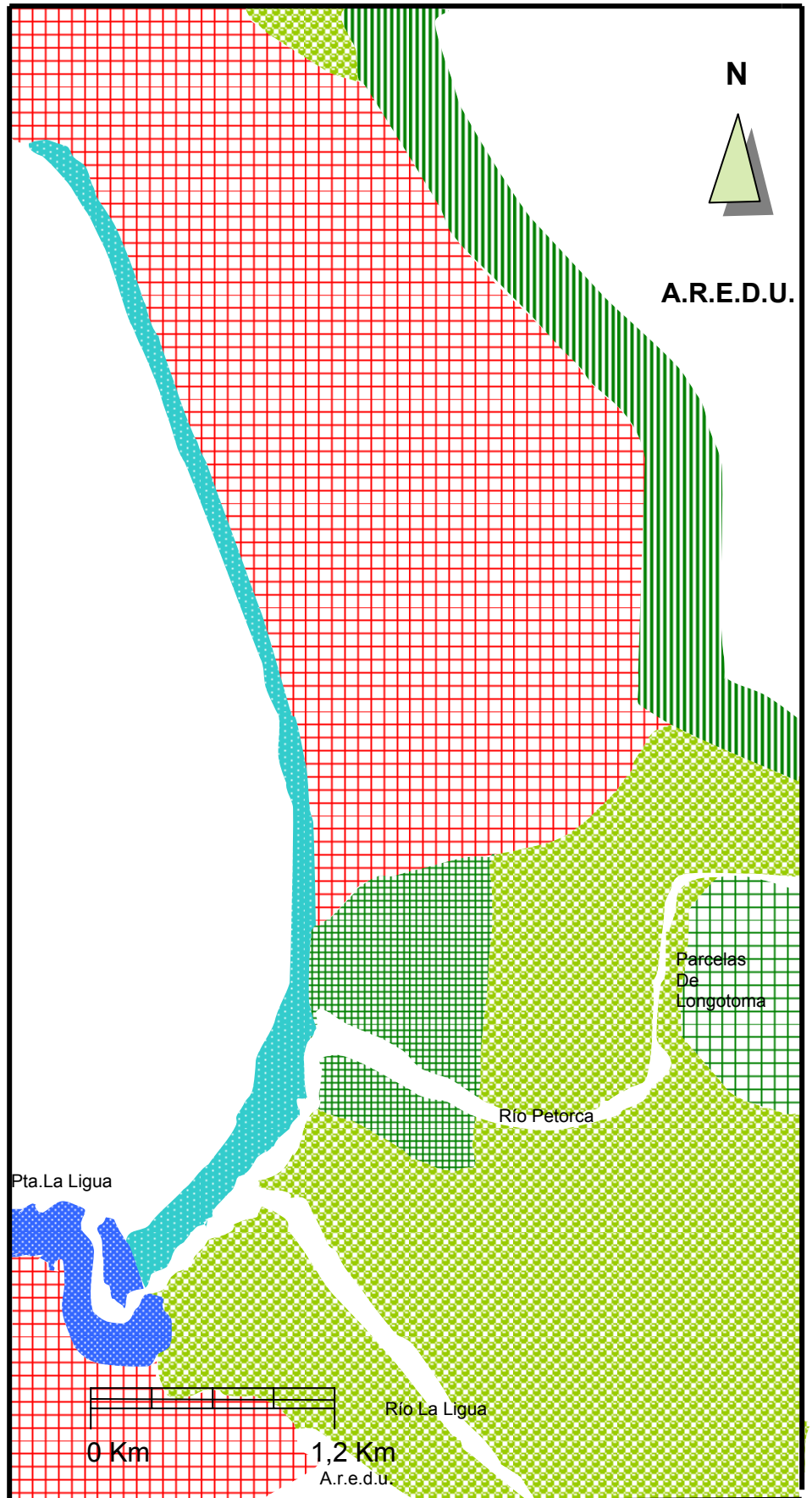
Según: Modificación plan intercomunal de Valparaíso, 1996.

CARTA DE AREAS DE EXTENSIÓN URBANA Campo de dunas de Longotoma

- SIMBOLOGÍA**
 Areas de extensión Urbana
-  4 (24 hab/há)
 -  3 (60 hab/há)
 -  2 (Sin dato)
- Zonas de restricción
-  1 (Playa)
 -  2 (por valor paisajístico y natural)
 -  5 de carretera
 -  Area de interés Silvoagropecuario
 -  Area de restricción de edificación urbana



A.R.E.D.U.










Escala
1: 30.000

Según Modificación Plan Intercomunal de Valparaíso, 1996.

Fig. 59

CARTA SINTESIS Campo dunar de Longotoma (Ver Fig.59)

Simbología

-  Zona de Restricción 3
-  Zona de Restricción 2
-  A.R.E.D.U. Area de restricción de expansión urbana
-  Dirección de los flujos de arena
-  Dirección de los flujos de arena
-  Sectores críticos de acumulación de arenas
-  Límite de las unidades dunares (Ver Fig.12)

Escala
1 : 30.000

Elaboración propia.

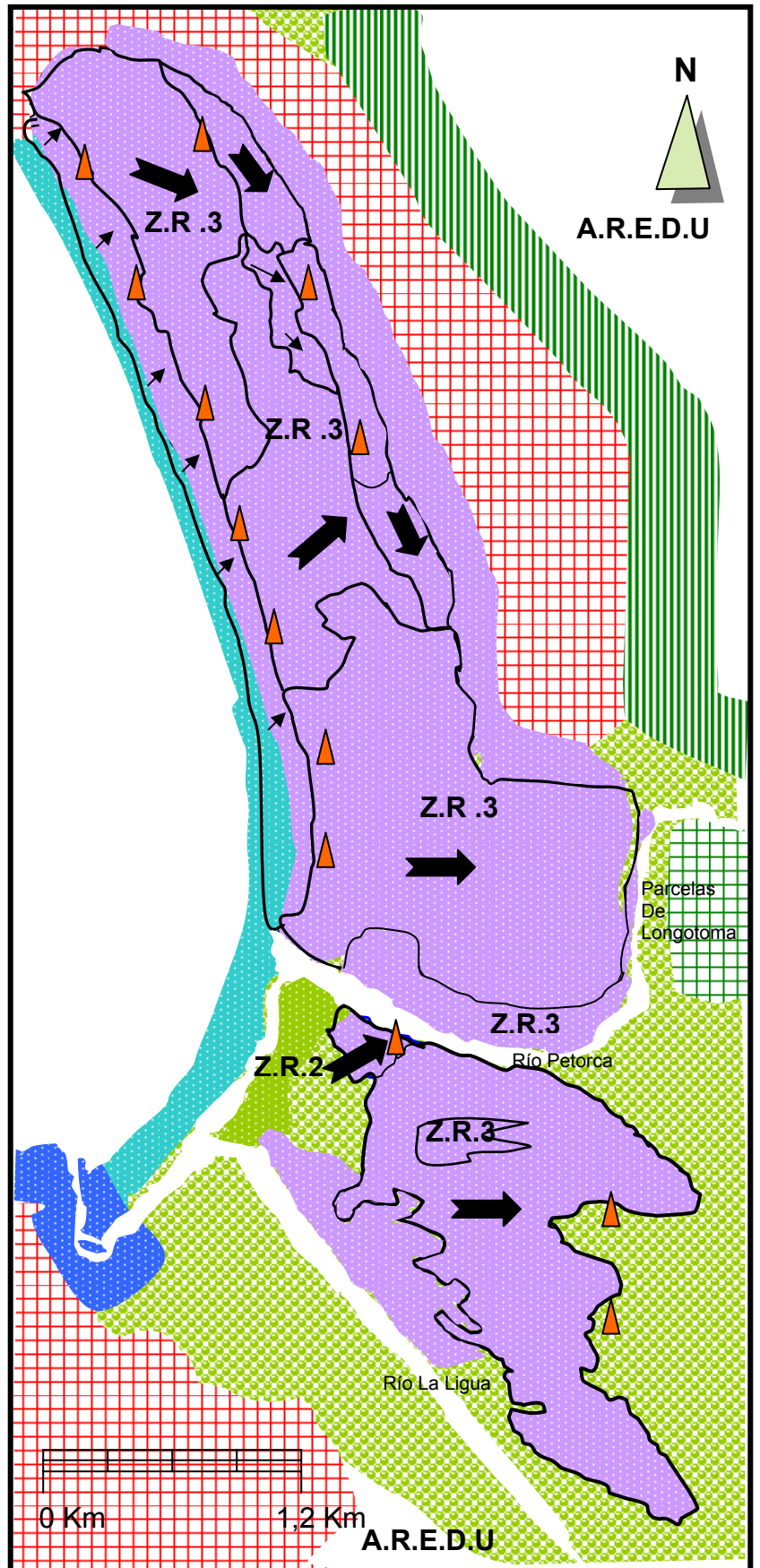


Fig.60

Superposición de la información (Carta Síntesis)

En la Fig. 60 se puede observar la dirección de los flujos de arena existentes en el campo de dunas medias y actuales, al igual que los límites de las unidades geomorfológicas más representativas. Estos vectores confluyen en ciertos sectores que se visualizan como críticos para la urbanización al recibir flujos de arena desde varias direcciones distintas. En el caso de una urbanización, especialmente en esos sectores se sufriría un daño permanente a los inmuebles por el efecto de la movilización de arenas (corrosión) y un aumento de la velocidad de deterioro debido a la atmósfera salina.

Además de esto puede repetirse la experiencia vivida en las Dunas de Iquique, donde la arena sobrepasa las bases de las viviendas, significando un enorme problema no sólo para los habitantes del área, sino para las autoridades locales.

Los problemas que acarrearía la urbanización del sistema dunar de Longotoma serían provocados por una serie de efectos consecuentes, tales como:

- Contaminación de las aguas que mantiene el recurso de los pescadores de la Caleta de Pichicuy, hacia el Norte, por el arrastre de desechos de las potenciales viviendas a causa de la deriva.
- Alteración del equilibrio ecológico propio de la zona por la degradación de la cubierta vegetal, como consecuencia del uso residencial o turístico inapropiado.
- Alteración de un área con un alto valor paisajístico, ecológico, arqueológico y geomorfológico.
- Removilización de arenas y la consecuente reactivación de las unidades dunares estabilizadas.
- Dificultad de acceso a la playa pública o privatización de la misma, producto del loteo a privados que cubre toda área del sistema dunar, inclusive la unidad de anteduna y gran parte de la zona de humedales.
- Inestabilidad de los terrenos en la construcción de viviendas.(Excavamiento de fundiciones, asentamientos de terreno, fallas de cimientos, agrietamientos de murallas y descuadre de estructuras)

- Deterioro y erosión producto del tránsito de vehículos motorizados, por la pérdida de la cubierta vegetal productora, que ya se puede apreciar principalmente en la zona de los conchales precolombinos.
- Movimientos en masa producto de la remoción de materiales en el acantilado, consecuentes a obras viales y/o urbanización.
- Pérdida de la biodiversidad y fragmentación de los ecosistemas, en especial de los asociados a marismas y humedales costeros.
- Deterioro del patrimonio cultural relacionado a la Tradición cultural Bato.
- Incremento de los niveles de riesgo y erosión en las unidades geomorfológicas descritas.

Recomendaciones

Es importante mencionar que el concepto de desarrollo sustentable es indispensable a la hora de definir usos en determinados espacios, ya que debemos recordar que ellos son siempre dinámicos y se debe lograr cierto grado de armonía entre este dinamismo y la acción humana que se asienta sobre ellos. Para esto no solamente se debe considerar las necesidades o requerimientos presentes sino también las posibles consecuencias que un mal manejo puede producir sobre el territorio. Cabe destacar que los impactos que se producen sobre el espacio se perciben claramente en el ámbito local, puesto que las problemáticas se traducen en consecuencias directas para sus habitantes. Esto le otorga gran importancia a la gestión municipal en la temática del ordenamiento territorial. Finalmente cabe recalcar que la existencia de las dunas es un fenómeno natural y no existen entonces razón alguna para oponerse a sus movimientos, salvo donde su desplazamiento presente un riesgo para las obras humanas.

Cualquier intervención en el sistema dunar y estuarial presentaría un riesgo de desestabilización en las unidades inactivas y generaría mayores aportes sobre las unidades ya activas. Además de esto el sistema estuarial posee una importancia ecológica, la existencia de los humedales se relaciona directamente a la presencia de distintos tipos de aves, que anidan en el lugar, algunas de ellas, según estudios anteriores, en peligro de extinción. La principal singularidad del campo de dunas de Longotoma es su escasa intervención antrópica, esto le otorga un gran valor desde el punto de vista geomorfológico, además de un incalculable valor arqueológico y paisajístico.

Por lo tanto se recomienda el evaluar la modificación del plan intercomunal o adquirir un mayor grado de conocimiento acerca de la dinámica natural del área previamente a efectuar cualquier tipo de acción sobre este espacio, ya que en este caso se precisa tomar en consideración sus características particulares, con el fin de propender a una adecuada asignación de los usos posibles.

Entonces, se propone modificar el uso impuesto sobre el área de estudio por el plan intercomunal desde un uso potencialmente urbano a un uso turístico pasivo, o bien que se estudie la posibilidad de estos espacios como áreas de protección o restricción. De lo anterior se recomiendan los siguientes usos en específico:

Tabla 4

Sector	Zonificación Actual Plan Intercomunal de Valparaíso	Zonificación recomendada
Campo dunar de Longotoma Dunas Medias y actuales	Area extensión urbana 3 Area extensión urbana 4 Área de interés silvoagropecuario	Zona de restricción 3 de protección ecológica
Zona de humedales	Area extensión urbana 3 Area de interés silvoagropecuario	Zona de restricción 3 de protección ecológica
Unidad de dunas antiguas	Area restringidas o excluidas del desarrollo urbano	Area restringidas o excluidas del desarrollo urbano
Acantilado Inactivo	Area extensión urbana 4	Zona de restricción 3 De protección ecológica

Según la autora.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todas las personas que colaboraron en la elaboración de este estudio. Especialmente al profesor José Araya Vergara quién guió a la autora en la esquematización del informe y en las dudas existentes en cuanto a Geomorfología Litoral. Finalmente quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres, a Miguel Angel, a mi hijo Mateo y a Patricio Rodríguez por todo su apoyo

REFERENCIAS

- Andrade, B., 1997. Desarrollo urbano en el litoral de la provincia de Petorca: Una aproximación desde los instrumentos de planificación territorial y la fragilidad del medio físico. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24: 157 – 164.
- Araya Vergara, J. F., 1979. Las incidencias cataclísmicas de las bravezas en la evolución de la costa de Chile Central. *Informaciones Geográficas*, 26: 19 - 42.
- Araya Vergara, J. F., 1981. El concepto de “Delta en ría” y su significado en la evolución litoral (ejemplo en Chile central). *Informaciones Geográficas*, 28: 71-102.
- Araya Vergara, J. F., 1982. Análisis de la localización de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile: Observación preliminar. *Informaciones Geográficas*, 29: 35 – 55.
- Araya Vergara, J. F., 1983. Influencias morfogenéticas de los desalineamientos y líneas de costa contrapuestas en el litoral de Chile Central. *Informaciones Geográficas*, 30: 3 - 23.
- Araya Vergara, J. F., 1987a. The evolution of modern coastal dune systems in central Chile. In Gardiner, V. De: *International Geomorphology*. Wiley and Sons. Chichester II: 1231 – 1244
- Araya Vergara, J. F., 1989a. Remnant Coastal Dunes and their significance in Chilean Ergs. *Geokoplus*, 1 :1-15
- Araya Vergara, J. F., 1996. Sistema de interacción oleaje- playa frente a los *Ergs* de Chanco y Arauco, Chile. *Gayana Oceanol.*, 4(2): 159 - 167
- Araya Vergara, J. F., 1997. Fundamentación geomorfológica para la conservación y manejo de sistemas dunares. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 42: 65 – 72.
- Araya Vergara, J. F., 2001. Los *ergs* del desierto marginal de Atacama, Chile. *Invest. Geogr. Chile*, 35:27 – 66.
- Arens, S. M., Van Boxel, J. H. & Abuodha, J., 2002. Changes in grain size of sand in transport over a foredune. *Geomorphology*, 27: 1163 – 1175.
- Battistini, R., 1964. L'extreme sur de Madagascar, étude geomorphologique. Edición cuyas. Paris. 636 pags.

Bristow, C., Chroston, N. & Bailey, S., 2000. The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground – penetrating radar surveys, Norfolk, UK. *Sedimentology*, 47: 923 – 944.

Canales, C., 1991. Caracterización física del Campo de dunas de Longotoma. Memoria para optar al título de Geógrafo. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Castro, C., 1984. Reseña del estado actual de conocimiento de las dunas litorales en Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 28: 13 –32.

Castro, C. & Brignardello, L., 1999. Diagnóstico del estado actual y sensibilidad natural del borde costero entre Concon y Quintay, V Región de Valparaíso. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 44: 107 – 124.

Castro, C., Calderón, M. & Zuñiga, A., 2001. Indicadores geomorfológicos de la fragilidad en paleodunas. *Revista de Geografía Norte Grande*, 28: 11 – 24.

Cooper, W. S., 1958. Coastal Sand dunes of Oregon and Washington. *Geological Society of America – Memoir* 72, 169.

Cooper, W. S., 1967. Coastal Sand dunes of California. *Geological Society of America – Memoir* 101, 131.

Fuenzalida, H., 1956. Campos de dunas en la costa de Chile central. XVIII Congreso Internacional de Geografía. Río de Janeiro.

Gares, P. & Nordstrom, K., 1994. A cyclic model of foredune blow out evolution for a leeward coast: Island Beach, New Jersey. *Annals of the Association of American Geographers*, 85 (1): 1 – 20.

Guilcher, A., 1954. Morfología litoral y submarina. Editorial Omega. Barcelona.

Hesp, P., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245 – 268.

Illenberger, W.K. 1988. The dunes of the Alexandria coastal dunefield, Algoa Bay, South Africa. *En: S. Afr. J. Geol.*, 91 (3): 381 – 390.

Illenberger, W. & Rust, I., 1988. A sand budget for the Alexandria coastal dunefield, South Africa. *Sedimentology*, 35: 513 – 521.

Jimenez, J., Maia, L., Serra, J. & Morais, J., 1999. Aeolian dune migration along the Ceará coast, north – eastern Brazil. *Sedimentology*, 46:689 – 701

Kuzucuoglu, C., Parish, R. & Karabiyikoglu, M., 1998. The dune systems of the Konia Plain (Turkey): their reaction to environmental changes in Central Anatolia during the Late Pleistocene and Holocene. *Geomorphology*, 23: 257 – 271.

Lancaster, N., 1992. Relations between dune generations in the Gran desierto of Mexico. *Sedimentology*, 39:631 – 644.

McKenna Newman, C., N. Lancaster & W. G. Nickling, 2000. The effect of unsteady winds on sediment transport on the stoss slope of a transverse dune, Silver Peak, NV, USA. *Sedimentology*, 47: 211 – 226.

Miall, A. D., 2000. Suggestions for researching and publishing regional stratigraphic research. *Sedimentary Geology*, 132: 1-3.

Ministerio de Defensa Nacional, 1994. Decreto Supremo 475. Política Nacional de Uso de Borde costero del Litoral de la República. Subsecretaría de Marina. República de Chile.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994. Ley 19.300. Bases Generales del Medio Ambiente. Versión oficial. República de Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1992. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción. Versión oficial. República de Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1996. Modificación Plan Intercomunal de Valparaíso, comunas de Puchuncaví, Zapallar, Papudo y La Ligua. Satélite Borde costero Norte. Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, V Región.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1998. Circular Ordinaria N°045. Planes Reguladores Intercomunales. División de Desarrollo Urbano. Santiago. Chile.

Nishimori, H. & Tanaka, H., 2001. A simple model for the formation of vegetated dunes. *Geomorphology*, 26: 1143 – 1150.

Norman, J.O., 1981. Coastal dune systems. Coastal dynamics and scientific sites E.C.F. Bird et. K. Hoike. Tokyo.

Olivier, M. J. & Garland, G., 2003. Short – term monitoring of foredune formation on the east coast of South Africa. *Geomorphology*, 28: 1143 – 1155.,

Orrego, A., 1996. Ordenamiento territorial de la franja costera para la asignación de usos turísticos, Comuna de La Ligua, V Región. Seminario de Grado. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Parker Gay, S., 1999. Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Perú. *Geomorphology*, 27 : 279 – 293.

Paskoff, R., 1971. Geomorfología de Chile Semiárido. Facultad de humanidades. Universidad de La Serena.

Paskoff, R. & Manríquez, H., 1997. Manejo del Borde Costero y Desarrollo sustentable en Chile Central. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 42: 73 – 89.

Paskoff, R. & Manríquez, H., 1999. Ecosystem and legal Framework for Coastal management in central Chile. *Ocean & Coastal management*, 42 : 105 –117.

Paskoff, R., 1999. Contribuciones recientes al conocimiento del Cuaternario marino del centro y Norte de Chile. *Revista geográfica del Norte Grande*, 26: 43-50.

Pomar, J. M., 1962. Cambios en los ríos y en la morfología de la costa de Chile. *Revista chilena de Historia y Geografía*, 130: 318 – 356.

Robert, A. & Uhlman, W., 2001. An experimental study on the ripple – dune transition. *Geomorphology*, 26: 615 – 629.

Schneider, H., Antonioletti, R., Borcosque, J. & Zarate, E., 1969. Características climáticas del Norte chico. Instituto de investigación de recursos naturales.

Schwammie, V. & Hermann, H., 2004. Modelling transverse dunes. *Geomorphology*, 29: 764 – 784.

Sweet, M. L., Nielson, J., Havholm, K. & Farrelley, J., 1988. Algodones dune field of southeastern California: case history of a migrating modern dune field. *Sedimentology*, 35: 939 – 952.

Tastet, J. P. & Pontee, N., 1998. Morpho – chronology of coastal dunes in Medóc. A new interpretation of Holocene dunes in southwestern France. *Geomorphology*, 25: 93 – 109.

Tinley, K.L., 1985. Coastal dunes of South Africa. South African National Scientific Programmes, Report N° 109, Pretoria.

Tsoar, H. & Blumberg, D. G., 2002. Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. *Geomorphology*, 27: 1147 – 1161.

Van Boxel, J.H., S.M. Arens & P.M. Van Dijk, 1999. Aeolian processes across transverse dunes. I: Modelling the air flow. *Earth Surf. Process. Landforms*, 24: 255- 270.

Van Dijk, P.M., S.M. Arens & J.H. Van Boxel, 1999. Aeolian processes across transverse dunes. II : Modelling the sediment transport and profile development . *Earth Surf. Process. Landforms*, 24: 319- 333.

Wang, X., Dong, Z., Zhang, J. & Zhao, A., 2002. Relations between morphology, air flow, sand flux and particle size on transverse dunes, Taklimakan Sand sea, China. *Geomorphology*, 27: 515 – 526.

Wilson, I., 1972. Aeolian Bdeforms. Their development and origins. *Sedimentology*; 19: 173 – 210.