



Revista de Geografía Norte Grande

ISSN: 0379-8682

hidalgo@geo.puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Chile

Peña-Cortés, Fernando; Ailio, Cecilia; Gutiérrez, Patricia; Escalona-Ulloa, Miguel; Rebolledo, Gonzalo;  
Pincheira-Ulbrich, Jimmy; Rozas, Daniel; Hauenstein, Enrique  
Morfología y dinámica dunaria en el borde costero de la Región de La Araucanía en Chile.  
Antecedentes para la conservación y gestión territorial  
Revista de Geografía Norte Grande, núm. 41, diciembre, 2008, pp. 63-80  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30011629004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Morfología y dinámica dunaria en el borde costero de la Región de La Araucanía en Chile. Antecedentes para la conservación y gestión territorial<sup>1</sup>

Fernando Peña-Cortés<sup>2</sup>, Cecilia Ailio<sup>2</sup>, Patricia Gutiérrez<sup>2</sup>, Miguel Escalona-Ulloa<sup>2</sup>, Gonzalo Rebolledo<sup>2</sup>, Jimmy Pincheira-Ulbrich<sup>2</sup>, Daniel Rozas<sup>2</sup> y Enrique Hauenstein<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se evaluó la dinámica de los campos dunarios del borde costero de La Araucanía entre los años 1994 y 2004, usando para ello la clasificación morfológica y grado de estabilización, evaluado a partir de material cartográfico, fotografías aéreas y reconocimiento en terreno. Se delimitaron 8 campos de dunas distribuidos en una superficie de 4.597 ha, constatándose una expansión total de 314 ha en el periodo; las dunas activas representaron un 35% de esta superficie, mientras que las dunas semiestabilizadas y estabilizadas representaron un 31 y 15% respectivamente. La morfología más frecuente fue el tipo de duna transversal y las especies vegetales con mayor frecuencia fueron *Pinus radiata* y *Ammophila arenaria*. Finalmente, la localización y la determinación de los grados de estabilización y formas dunarias permiten reconocer la acción de factores naturales y antrópicos, los que requieren ser abordados integralmente como base para una gestión integrada de esta zona costera.

**Palabras clave:** Grado de estabilización, dinámica dunaria, gestión territorial.

## ABSTRACT

An evaluation was made of the dynamics of the dune systems of the coastal strip of the Araucanía region between 1994 and 2004, based on its morphological classification and degree of stabilization as evaluated from cartographic material, aerial photographs and investigation in the field. Eight fields of dunes were defined with a total surface area of 4,597 ha being stated a total expansion of 314 ha in the period; active dunes represented 35% of the total area, while semi-stabilized and stabilized dunes represented 31% and 15% respectively. The most common type of morphology was transverse dunes and the most frequent plant species were *Pinus radiata* and *Ammophila arenaria*. Finally, the localization and the determination of the stabilization grades and dunaries shapes allow to recognize the action of the natural and anthropic factors, these integrally require to be tackle as a frame for an integrated management of this coastal zone.

**Key words:** Degree of stabilization, dune dynamics, territorial management.

<sup>1</sup> Artículo recibido el 30 de mayo de 2008 y aceptado el 16 de septiembre de 2008.

<sup>2</sup> Laboratorio de Planificación Territorial, Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Natu-

rales, Universidad Católica de Temuco (Chile). E-mail: fpena@uctemuco.cl; cecilia.ailio@gmail.com; pguiter@uct.cl; mescalon@uct.cl; grebolle@uct.cl; jpincheira@uct.cl; drozas@uct.cl; ehauen@uct.cl

Las dunas litorales son depósitos eólicos de arena cuya formación ocurre por efecto del aporte de sedimentos marinos y terrestres que se acumulan en la línea de playa por la acción del oleaje y el viento, y cuyo asentamiento depende de la topografía y la vegetación (Tavares, 1996). Su origen está relacionado directamente con las modificaciones climáticas y del nivel del mar ocurridos durante el período cuaternario (Paskoff, 1970).

A escala global, las dunas litorales constituyen sistemas esenciales del equilibrio dinámico y sedimentario de las playas (Psuty, 1988), puesto que actúan como una barrera natural de la acción marina hacia el continente (Ramírez, 1992), como ocurre con las marejadas y tsunamis, protegiendo lagunas, estuarios, marismas y tierras interiores (Castro, 1985). Cortan el viento y detienen el agua salada, lo que impide la contaminación de la napa freática y permite que el bosque se aproxime a la orilla del mar (Paskoff, 1992). De esta manera, las dunas constituyen unidades de paisaje con diversas funciones ecológicas donde pueden desarrollarse formaciones vegetales naturales con amplia pero fragmentada distribución.

Los sistemas dunarios son el resultado de una constante interacción entre los procesos geomorfológicos y biológicos, que en condiciones extremas hace posible la manifestación de uno u otro proceso con mayor fuerza, resultando en dunas activas (sin vegetación) o dunas estabilizadas (con vegetación) (Van Der Meulen & Jungerius, 1989). La importancia de la vegetación como un elemento modelador de la duna ha sido destacada por Goldsmith (1978), autor que clasifica las dunas como transgresivas e impedidas, de acuerdo a la ausencia o presencia de vegetación, respectivamente. Por otra parte, la clasificación de las dunas puede considerar un conjunto de variables, tales como su edad, origen, estructura, morfología, posición relativa a la playa, morfodinámica litoral o una combinación de estas (Davies, 1978; Nordstrom 1990). No obstante, puesto que tradicionalmente el manejo de las dunas litorales ha estado orientada a la defensa de la costa contra la invasión marina (Carter, 1988), la vegetación es una de

las variables más importantes para su evaluación y clasificación (Tavares, 1996).

En Chile central, las dunas litorales se desarrollan en forma discreta a lo largo de la costa del océano pacífico, representando solo el 3% de esta franja (Castro y Aguirre, 2003). Su mayor desarrollo lo alcanzan entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (IREN, 1966), cubriendo una superficie de 131.000 ha (Paskoff y Manríquez, 2004). Estos sistemas naturales han estado sometidos a una fuerte presión de uso (e.g. agricultura, forestal y turismo), lo que sumado a su alto grado de fragilidad frente a la ocupación antrópica, ha afectado su dinámica natural (Tavares, 1996; Paskoff, 1998). Así por ejemplo, la interrupción del aporte de sedimentos terrestres, debido a la regulación de los ríos, la construcción de embalses, la expansión inmobiliaria, la extracción de áridos y la eliminación del material vegetal de las dunas, son algunas de las principales causas de la regresión de los sistemas dunarios (Paskoff, 1992).

En Chile no se registran estudios que permitan evidenciar la dinámica de los estados de estabilización de estos sistemas, además los estudios de caracterización de los sistemas dunarios son escasos, destacándose entre ellos las investigaciones de Tavares (1996), Araya (1982), Araya-Vergara (1985) y Castro y Aguirre (2003). En la Región de La Araucanía esta situación no es diferente, sin embargo la dinámica de los sistemas dunarios se potencia por factores naturales y antrópicos; así por ejemplo, los altos niveles de pobreza y división de la propiedad han generado una fuerte presión sobre el uso de suelo para cultivos agrícolas, pequeñas plantaciones forestales y ganadería, generando graves impactos sobre los ecosistemas costeros. Además, la necesidad de proteger las áreas cultivadas para minimizar el efecto del avance de las dunas al interior del continente, ha planteado la necesidad de estabilizar las dunas con especies introducidas sin una previa diferenciación y zonificación morfológica de los sistemas dunarios, condición que podría generar cambios en la dinámica natural de estos ecosistemas. En este marco, el objetivo de este trabajo fue analizar la dinámica de los sistemas dunarios del borde costero de la Región de La Araucanía entre los años 1994-

2004 a partir de la caracterización morfológica y el grado de estabilización dunaria como base para la conservación y gestión territorial de estos espacios.

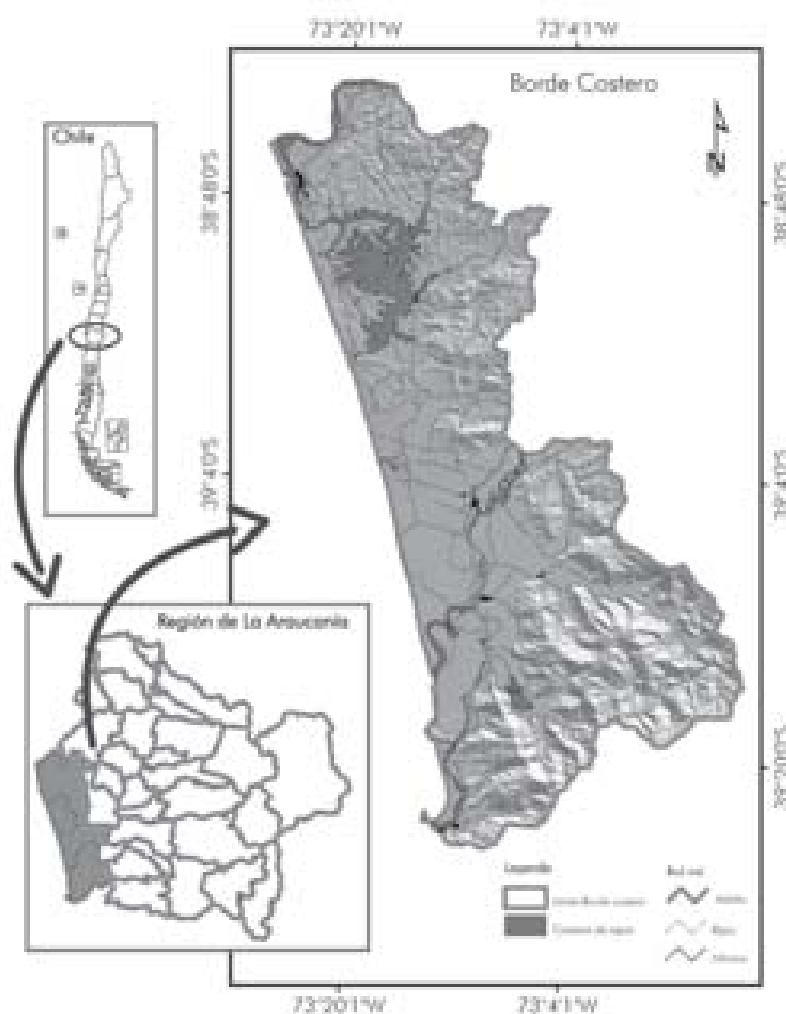
## Materiales y métodos

### Área de estudio

El borde costero de la Región de La Araucanía se ubica a 85 km de distancia al oeste de la ciudad de Temuco (Figura N° 1).

Abarca una superficie aproximada de 165.788 ha, comprendiendo los territorios de las comunas de Carahue, Puerto Saavedra, Teodoro Schmidt y Toltén. Dentro de este espacio, el área representada por las dunas litorales cubre una superficie de 4.135 ha (IREN, 1966), las cuales se distribuyen desde la desembocadura del río Imperial hasta el río Queule, entre las coordenadas geográficas 38° 44' Lat. Sur y los 73° 27' Long. Oeste y 39° 24' de Lat. Sur y los 73° 09' Long. Oeste.

Figura N° 1  
BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA



Fuente: Elaboración propia.

### *Delimitación del área de estudio*

Para delimitar el área de estudio se utilizó cartografía base del proyecto FONDECYT 1030861 junto a imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ p233r87 año 2003, con resolución de píxel de 30 x 30 m; además, las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) del año 1961, escala 1:50.000 y 1:25.000 respectivamente, las localidades de Trovolhue (3830-7315), Carahue (3830-7300), Puerto Saavedra (3845-7315), Chelle

(3900-7315), Teodoro Schmidt (3845-7300), Toltén (3900-7300) y Queule (3815-7300).

### *Clasificación morfológica de las dunas*

La caracterización de la morfología de las dunas se realizó en base a la clasificación presentada en el trabajo de Paskoff y Manríquez (2004) (Cuadro N° 1). Para ello se usó como base la interpretación de fotografías aéreas pancromáticas para los dos años en evaluación, vuelos SAF-FONDEF

Cuadro N° 1  
MORFOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DUNARIOS

Morfología de la duna	Elementos característicos
Paleoduna	Dunas de antigua formación donde actualmente se evidencia formación de suelo.
Duna transversal	Formación bien definida que se dispone perpendicularmente a la dirección de los vientos.
Duna paralela	Unidad morfológica bien definida paralela a la orilla del mar. Su asociación con la playa de produce por efecto de los intercambios sedimentarios del mar y el viento.
Duna no definida	Unidad morfológica estabilizada con densas plantaciones de especies exóticas que no permiten efectuar una correcta caracterización de su forma.
Duna longitudinal	Cordones paralelos, alargados en el sentido de los vientos dominantes sobre una distancia de varios centenares de metros, separados por corredores de pocos metros de profundidad.
Duna bordera (conjunto de formas: barjan blowots transversal y longitudinal)	Unidad morfológica en formación; caracterizada por presentar montículos aislados, bajos y pequeños a menudo con escasa a nula presencia de vegetación de tipo herbácea o formas básicas transversal o longitudinal apenas definidas.
Depresión húmeda	Espacio de topografía baja donde la napa freática está cercana o aflora a la superficie en periodo de invierno (estacional) permitiendo la presencia de áreas húmedas.
Cuerpo de agua	Espacio de topografía baja donde la napa freática está cercana permitiendo la presencia de áreas húmedas durante gran parte del año.
Corredor de deflación	Área de transporte libre de partículas finas de arena, que separa los montículos de arenas y donde no existe barrera vegetal.

Fuente: Modificado de Paskoff y Manríquez (2004).

1994 y SAF-FONDECYT 1030861 año 2004, ambos a escala 1:20.000.

El levantamiento cartográfico de la forma de las dunas litorales se basó en la digitalización de los elementos espaciales, usando para ello el programa ARC/INFO TM 3.5.1. Por su parte, el manejo de base de datos se efectuó con el programa Arc View TM 3.2., mientras que la edición de las cartas se realizó en el programa Arc Gis TM 8.2.

Asimismo, se utilizó la caracterización geomorfológica realizada en el marco del proyecto FONDECYT 1030861 mediante el método propuesto por Tricart (1985). Esta caracterización fue integrada con la localización de los campos de dunas a fin de identificar las principales unidades geomorfológicas donde se asientan estos sistemas.

#### *Grado de estabilización de las dunas*

El grado de estabilización de las dunas se evaluó mediante la cuantificación de la cobertura vegetal (herbácea, arbustiva y arbórea), en base a la fotointerpretación previamente realizada para los dos años en evaluación. Así, se definieron cuatro criterios de clasificación de acuerdo a su grado de estabilización (Cuadro N° 2): dunas activas, dunas parcialmente estabilizadas, dunas estabilizadas y dunas antiguas. El análisis se efectuó a nivel de campo de duna, identificando además la morfología dunaria asociada.

La caracterización de la cobertura vegetal se complementó con la identificación de

su composición florística, mediante parcelas de 1 m<sup>2</sup> separadas cada 10 m, de acuerdo a lo propuesto por CONAMA y TESAM (1996). Estas unidades de muestreo se distribuyeron sobre tres transectos en cada campo de duna siguiendo una línea perpendicular a la costa y posterior a la playa, su largo fue variable y dependió tanto del ancho de los campos de dunas como de la presencia de plantaciones forestales, las cuales no fueron muestreadas. Para la identificación de especies se consultaron las publicaciones de Matthei (1995) y Hoffmann (1982), en tanto que la nomenclatura siguió a Marticorena y Quezada (1985). Este muestreo permitió además el reconocimiento en terreno de la morfología de los sistemas dunarios.

#### *Dinámica de las dunas entre los años 1994 y 2004*

Para el análisis de la dinámica de las dunas, se utilizaron capas de uso-cobertura elaboradas en base a fotointerpretación. Este análisis se efectuó a nivel de campo de duna, y se basó en la comparación de la variación de las superficies representadas por cada tipo de forma dunaria y grado estabilización, utilizando la variación total y la tasa de cambio promedio anual (European Commission, 2000).

## **Resultados**

A partir de la fotointerpretación y análisis cartográfico se identificaron 8 campos de dunas en el Borde Costero de la Región de La Araucanía (Figura N° 2 y Cuadro N° 3):

Cuadro N° 2  
CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE DUNAS DE ACUERDO A SU GRADO DE ESTABILIZACIÓN

Dunas Activas	Dunas Parcialmente Estabilizadas	Dunas Estabilizadas	Dunas Antiguas
Cobertura vegetal menor a 30% con especies herbáceas.	Vegetación mixta de especies herbáceas y/o arbustivas con cobertura entre 20% y 60%.	Vegetación mixta de especies herbáceas y/o arbustivas con cobertura mayor a 60%.	Vegetación sobre suelo en desarrollo (pradera-arbustiva)

Fuente: Elaboración propia.

las dunas asociadas a la desembocadura del río Imperial (la Barra norte y sur), las dunas de Deume asociadas a la cuenca de río-lago Budi (incluye el sector de Boca Budi), las dunas de Puaucho-Malalhue ubicadas al norte de la desembocadura del estero Chelle

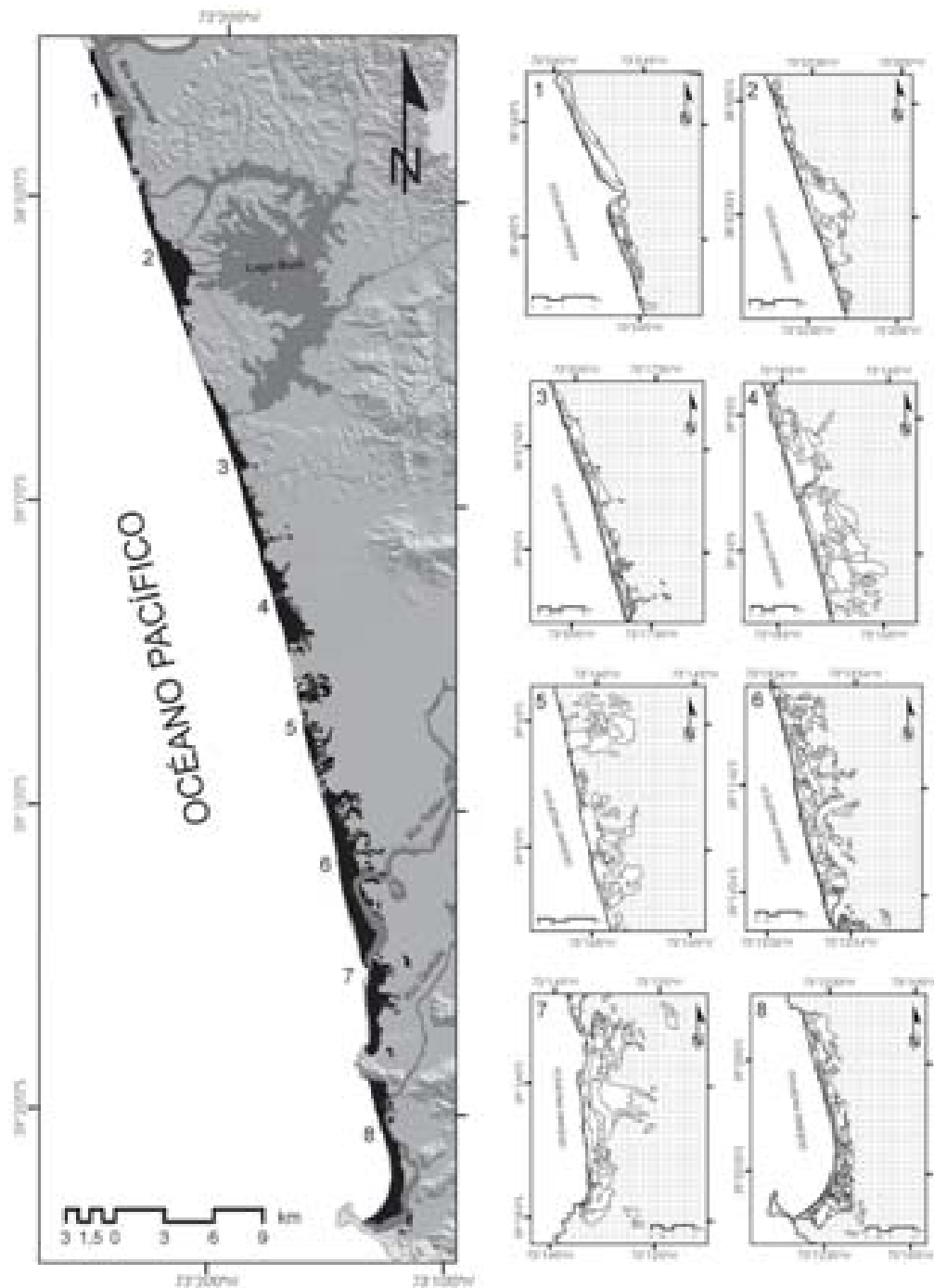
por el sur incluyendo el sector Peleco, las dunas de Puyehue ubicadas al sur de la desembocadura del estero Chelle, las cuales limitan con la laguna del mismo nombre, las dunas de Porma en la desembocadura del estero Porma, la Barra de Toltén en el área

Cuadro N° 3  
CAMPOS DE DUNAS IDENTIFICADOS EN EL BORDE COSTERO DE LA ARAUCANÍA

Campo de duna	Unidad geográfica de referencia	Unidad geomorfológica característica	Localización geográfica	Superficie (ha)
Imperial (Barra norte y sur)	Desembocadura del río Imperial	Llanura fluviomarina	38°45'30"S y 73°25'30"O; 38°49'30"S y 73°23' O	238
Deume	Cuenca del río-Lago Budi	Llanura aluvial, plataforma sobre roca metamórfica (abrazión marina)	38°49'30"S y 73°22'30"O; 38°54'30"S y 73°21'30"O'	602
Puaucho-Malalhue	Norte de la desembocadura del estero Chelle	Llanura fluviomarina, llanura aluvial, plataforma en roca metamórfica (abrazión marina)	38°56'S y 73°22'O; 39°1'30"S y 73°18'O	436
Puyehue	Sur de la desembocadura del estero Chelle	Llanura aluvial, plataforma en roca metamórfica, terraza de abrazión marina	39°1'30"S y 73°18'30"O; 39°5'S y 73°16'30"O	551
Porma	Desembocadura del estero Porma	Terraza y plataforma de abrazión marina	73°16'O y 38°5'30"S; 73°15'30"O y 39°9'30"S	393
La Barra de Toltén	Desembocadura del río Toltén	Llanura de inundación, plataforma en roca metamórfica	39°9'30"S y 73°15'30"O; 39°15'S y 73°13'30"O	1.143
Nigue Norte	Curso inferior del río Queule	Llanura fluviomarina	39°15'S y 73°13'O; 39°18"S y 73°13'30"O	515
Nigue Sur	Curso inferior del río Queule	Llanura fluviomarina, plataforma de abrazión marina	39°19"S y 73°13'30"O; 39°23'30"S y 73°13'30"O	720

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 2  
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CAMPOS DE DUNAS DEL  
BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA



Nota: 1= Imperial, 2= Deume, 3: Puaucho-Malalhue, 4= Puyehue, 5= Porma, 6= La Barra de Toltén, 7= Nigue Norte, 8= Nigue Sur

Fuente: Elaboración Propia.



de la desembocadura del río del mismo nombre, y los campos de dunas de Nigue Norte y Nigue Sur, en el curso inferior del río Queule.

El conjunto de campos de dunas representaron una superficie aproximada de 4.597 ha (cuantificadas al año 2004). Siendo el campo de la Barra de Toltén el de mayor tamaño, con 1.143 ha, equivalente al 25% de la superficie total, mientras que el campo de dunas de Imperial fue el más pequeño, con solo 238 ha, equivalente al 5% de la superficie total. Los otros 6 campos de dunas representaron superficies que oscilaron entre 393 ha a 720 ha.

Las unidades geomorfológicas más frecuentes asociadas a los sistemas dunarios fueron las áreas de planicies, principalmente las llanuras fluvio-marinas y litorales situadas hacia el norte por la desembocadura del río Imperial y por el Sur hasta a la desembocadura del río Queule (Nigue Norte y Nigue Sur). Igualmente, las dunas se desarrollaron en menor proporción sobre las plataformas de roca metamórfica en relieves de abrasión marina, que alcanzan baja altitud al llegar a la costa, como se evidenció en Deume y Puaicho-Malalhue (Cuadro N° 3).

En cuanto al tipo y técnica de uso del suelo, se observaron en terreno distintas alteraciones, siendo los principales cambios la sustitución de uso, la construcción de obras de infraestructura, el aumento de áreas húmedas, drenaje para habilitación de espacios agrícolas, cultivo en el sentido de la pendiente, tala rasa en plantaciones exóticas y tala de bosques pantanosos (ver Peña-Cortés *et al.*, 2006 a, b y c para más detalles).

### *Dinámica de los sistemas dunarios entre los años 1994 y 2004*

#### A. Morfología

En 10 años las dunas del Borde Costero de La Araucanía se expandieron en 314 ha, desde 4.283 ha en el año 1994 a 4.597 ha en el año 2004, con una tasa de cambio promedio anual de 0,7% y un incremento total de 7,3% en el período (Cuadro N° 4). Si bien gran parte de los campos de dunas

incrementaron su superficie, la variación más importante se observó en Puaicho-Malalhue, con una tasa de cambio promedio anual de 1,6% y un incremento total en su superficie de 65 ha (18%). La excepción ocurrió con el campo de dunas de Nigue Norte, con una tasa de incremento anual negativa de -1,4% y una regresión total de su superficie de 77 ha (Cuadro N° 4).

La morfología más frecuente de los sistemas dunarios fue el tipo de duna transversal, común en todos los campos de dunas, alcanzando una superficie aproximada de 1.339 ha en el año 2004 (29% de la superficie total de dunas). Esta superficie varió escasamente con respecto a 1994, año en que se registraron 1.341 ha las cuales se caracterizaron por una gran proporción de dunas activas (67%). Una configuración distinta se constató en el año 2004, donde solo el 14% fueron dunas activas y cerca de la mitad se encontró estabilizada (48%). Esta tendencia hacia la estabilización se observa en gran parte de las dunas, en especial en la Barra de Toltén (Cuadro N° 4).

Las dunas longitudinales fueron las formaciones menos frecuentes para ambos años, con solo 183 ha y 209 ha respectivamente, equivalentes al 5% de la superficie total de dunas evaluadas. Estas se distribuyeron únicamente en los campos de dunas de Imperial, Deume y la Barra de Toltén.

Las dunas borderas se caracterizaron por manifestarse únicamente en estado activo, alcanzando una superficie de 506 ha para el año 2004, equivalente al 11% de los sistemas dunarios evaluados, de ellas Puaicho-Malalhue concentró el 40%. En el año 1994, este tipo de dunas estuvo representada por una mayor superficie (665 ha), destacándose los campos de Deume y Puyehue con 212 ha y 259 ha, respectivamente. Del mismo modo, las formaciones de dunas paralelas solo se presentaron de forma activa, distribuidas en 384 y 486 ha, equivalentes al 9% y 11% de las dunas del Borde Costero para los años 1994 y 2004. Para este último año, las dunas paralelas se observaron con mayor frecuencia en Imperial y la Barra de Toltén, concentrando el 20% y 21% de la superficie de este tipo de dunas (Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4

MORFOLOGÍA, GRADOS DE ESTABILIZACIÓN Y DINÁMICA DE LOS CAMPOS DE DUNAS DEL BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA ENTRE LOS AÑOS 1994 Y 2004

Grados de estabilización (ha)	Morfología del sistema dunario	Imperial				Deume				Puacho-Malalhue				Puyehue				Porma			
		1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V
Activa	Bordera	32	24	-2,9	-25	212	3	-43,9	-99					259	158	-4,9	-39				
	Dep. húmeda	0,3	0,3	0,1	1,4	10	25	8,6	136					21	65	11,3	209			4	
	Longitudinal	51	37	-3,3	-28									1							
	Paralela	89	96	0,8	8	67	70	0,4	4,2	139	40	-12,4	-71	30	32	0,6	7				
	Transversal	9	1	-21,9	-89	73	48	-4,3	-35	25	1	-36,7	-97	8	19	8,6	135	1	4	11,8	225
Parc. Estabiliz.	Total	181	158	-1,3	-13	362	145	-9,2	-60	207	346	5,1	67	319	274	-1,5	-14	1	8	19,2	584
	Longitudinal							0,8													
	Transversal	17	29	5,3	70	22	210	22,7	864	4	15	13,3	279	1	11	23,0	898	2			
	Total	17	29	5,3	70	22	210	22,7	868	4	15	13,3	279	1	11	23,0	898	2			
Estabilizada	No definida	12	26	7,8	119	11	143	25,3	1.152	117	3	-35,2	-97	3	41	27,2	1.417	56			
	Longitudinal					104															
	Transversal	11	17	4,0	49	38	88	8,4	131	17	46	9,9	169	4	73	30,2	1.943	17	86	16,5	421
	Total	23	43	6,2	85	154	230	4,0	50	134	49	-10,0	-63	6	114	29,0	1.716	73	86	1,6	18
Total general	Paleoduna	8	8	0	0	17	17	0	0	26	26	0,0	0	125	125			297	297	0	0
	Cuerpo de agua					1,5								26	26	0,0	0				
		229	238	0,39	4,0	556	602	0,8	8	371	436	1,6	18	478	551	1,4	15	371	393	0,6	6

Cuadro N° 4  
(CONTINUACIÓN)

Grados de estabilización (ha)	Morfología del sistema dunario	La barra de Tolitén			Nigue norte			Nigue sur			Total general		
		1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V	1994	2004	TC	V
Activa	Bordera	2	89	37	3928					161	29	-17	-82
	Dep. húmeda	62	38	-5	-39	106	95	-1	-10	69	80	1	16
	Longitudinal	24								3			
	Paralela	0	104				63			59	81	3	37
	Transversal	412	6	-43	-99	218	22	-23	-90	159	81	-7	-49
Parc. Estabiliz.	Total	500	236	-7	-53	323	181	-6	-44	451	271	-5	-40
										2344	1620	-4	-31
	Longitudinal	171											
	Transversal	64				7	48	19	599	42	143	12	244
	Total	236				7	48	19	599	42	143	12	244
Estabilizada	No definida	167	298	6	78	68	84	2	24	82	172	7	110
	Longitudinal												
	Transversal	157	200	2	27	89	98	1	9	11	29	10	173
	Total	325	498	4	54	157	182	1	16	93	201	8	117
										517	768	4	49
Total general	Paleoduna	172	172	0	0	102	102	0	0	103	103	0	0
	Cuerpo de agua					2	2	-2	-19	1	1	0	0
										31	29	-1	-6
		997	1143	1	15	592	515	-1	-13	689	720	0	4
										4283	4597	1	7

Nota: 1994 = Superficie de la categoría en hectáreas para el año 1994; 2004 = Superficie de la categoría en hectáreas para el año 2004, TC = tasa de cambio promedio Anual, \* Método CORINE Land Cover 2000, V = Variación porcentual total para cada categoría.

Fuente: Elaboración propia.

Las dunas no definidas representaron 517 y 768 ha, equivalente a un 15 y 17% de los sistemas dunarios evaluados en los años 1994 y 2004, respectivamente. Estas formaciones se caracterizaron por estar estabilizadas con plantaciones exóticas, principalmente *Pinus radiata*.

Las dunas antiguas (o paleodunas) cubrieron una superficie de 850 ha, encontrándose en todos los campos de dunas, no obstante más de la mitad se distribuyó en Porma y la Barra de Toltén. Asimismo, las áreas de depresión húmeda y anegadiza se distribuyeron en todo el borde costero, representando aproximadamente un 9% de la superficie de los sistemas dunarios evaluados, lo que implica una alta riqueza de humedales, como ocurre en los sistemas húmedos asociados al lago Budi y en la gran llanura fluvio-marina del Toltén.

## B. Grado de estabilización

La clasificación de las dunas de acuerdo a su nivel de estabilización mostró que el desarrollo de dunas activas fue predominante en la zona de estudio, extendiéndose aproximadamente por 1.620 ha, lo que equivale al 35% de la superficie de los sistemas dunarios evaluados en el año 2004. Bajo esta clasificación destacan los campos de Imperial y Puacho-Malalhue, con el 66 y 79% de su superficie en estado activo. No obstante la alta representación de dunas activas, el análisis de la dinámica mostró una clara tendencia de incremento tanto de las superficies de dunas estabilizadas como de las dunas parcialmente estabilizadas.

En el caso de las dunas parcialmente estabilizadas, la superficie se incrementó desde 93 ha a 694 ha, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 20,1% y un incremento total en su superficie de 601 ha. Bajo esta clasificación destacan los campos de dunas de Deume y la Barra de Toltén, que explican más de la mitad de la tasa de cambio promedio anual de este tipo de dunas. Estas formaciones alcanzaron una extensión de 694 ha, equivalente al 15% de las dunas del borde costero, con una distribución que osciló entre 0,4% y 35% de la superficie de los campos de dunas considerados individualmente. Por su parte, las du-

nas estabilizadas representaron el 31% de la superficie total de dunas, destacándose la Barra de Toltén, con 44% de su superficie estabilizada. Este tipo de dunas se incrementó en un 46% (desde 965 ha a 1.404 ha), a una tasa de cambio promedio anual de 3,8%. Bajo esta clasificación, la mayor tasa de cambio se constató en las dunas de Puyehue con una variación total en el período de 108 ha. Cabe mencionar que la mayor parte de las dunas estabilizadas se observaron cubiertas con *Pinus radiata* con una superficie de 1.195 ha, equivalente al 85% de este tipo de dunas, indicando el alto grado de intervención antrópica en la regulación de su avance (Cuadro N° 4).

Las plantaciones se observaron en 6 de los campos dunarios, pero con mayor importancia en la Barra de Toltén, donde se concentró el 25% de éstas (Cuadro N° 4). La excepción ocurrió en Porma y Puyehue, donde se presentan dunas estabilizadas con matorral-pradera y pradera respectivamente, en ausencia de plantaciones forestales.

Coherentemente con la tendencia de incremento de las superficies estabilizadas, se constató que las dunas activas se redujeron a una tasa de cambio promedio anual de -3,7%, lo que representa una regresión total de su superficie de 724 ha. No obstante, en dos de los 8 campos de dunas esta tendencia fue opuesta, tal como ocurrió en Puacho-Malalhue y Porma, donde las dunas activas incrementaron su superficie con una tasa de cambio promedio anual de 5,1% y 19,2%, respectivamente (Cuadro N° 4). En el caso de Puacho-Malalhue, el incremento de dunas activas se explica en parte, por la remoción de arena para habilitar caminos sobre el campo dunario, lo cual deja expuesta el área al pisoteo animal. En el caso de Porma la situación de las dunas activas es favorecida por el pisoteo animal y el tránsito humano hacia la playa.

La vegetación de las dunas litorales estabilizadas presentó mayor desarrollo en aquellas formaciones apartadas de la playa y con baja influencia marina (por efecto de la salinidad). En general, las primeras formaciones dunarias sometidas a la acción marina e intensa actividad eólica, se presentaron con baja cobertura vegetal. La es-

pecie más frecuente y de amplia distribución en estas formaciones fue *Ammophila arenaria*, especie introducida que prolifera en áreas de sotavento y que es posible observar asociada a otras herbáceas como *Gamochaeta spicata*, *Rumex cuneifolius* y *Margyricarpus pinnatus* (Cuadro N° 5). Por otro lado, hacia el interior de los campos de dunas, en áreas parcialmente estabiliza-

das se encuentran otras especies, como *Lupinus arboreus*, y en depresiones húmedas: *Cotula coronopifolia*, *Geranium core-core*, *Polygonum maritimum*, *Coniza bonariensis* y *Juncus procerus*, que se desarrollan en forma dispersa y con baja densidad en el borde de estos cuerpos de agua. Por su parte, en áreas donde los procesos de estabilización están en una etapa final, la presen-

Cuadro N° 5  
CATÁLOGO FLORÍSTICO DE LA VEGETACIÓN PRESENTE EN DUNAS LITORALES DEL BORDE COSTERO DE LA ARAUCANÍA (NO INCLUYE PLANTACIONES FORESTALES)

Nombre científico	Nombre común	Familia	OF
<i>Ambrosia chamissonis</i> (Less.) Greene	Dicha grande	Asteraceae	N
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link	Amofila	Poaceae	I
<i>Arctotheca calendula</i> (L.) Levyns	Filigrña chica	Asteraceae	I
<i>Baccharis racemosa</i> (Ruiz et Pav.) Dc.	Chilca	Asteraceae	N
<i>Berberis darwinii</i> Hook.	Michay	Berberidaceae	N
<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	Centella	Apiaceae	N
<i>Cissus striata</i> Ruiz. et Pav.	Voqui negro	Vitaceae	N
<i>Coniza bonariensis</i> (L.) Cronquist	s.n.	Asteraceae	N
<i>Cotula coronopifolia</i> L.	Botón de oro	Asteraceae	I
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	Chépica	Poaceae	N
<i>Empetrum rubrum</i> Vahl ex Wild	Brecillo	Empetraceae	N
<i>Fragaria chiloensis</i> (Mol.) Gunkel	Frutilla	Rosaceae	N
<i>Gamochaeta spicata</i> (Lam.) Cabr.	Vira-vira	Asteraceae	N
<i>Geranium core core</i> Steud.	Core-core	Geraniaceae	N
<i>Juncus procerus</i> E. Meyer	Junquillo	Juncaceae	N
<i>Leontodon saxatilis</i> Lam.	Chinilla	Asteraceae	I
<i>Libertia chilensis</i> (Mol.) Gunkel	Calle-calle	Iridaceae	N
<i>Lupinus arboreus</i> Sims	Chocho	Fabaceae	I
<i>Margyricarpus pinnatus</i> (Lam.) O.K.	Perlilla	Rosaceae	N
<i>Pernettya mucronata</i> L. F. Gaudish ex G. Don	Chaura	Ericaceae	N
<i>Plantago major</i> L.	Llantén	Plantaginaceae	I
<i>Poa annua</i> L.	Piojillo	Poaceae	I
<i>Polygonum maritimum</i> L.	Hierba del pollo	Polygonaceae	N
<i>Rumex acetosella</i> L.	Vinagrillo	Polygonaceae	I
<i>Rumex cuneifolius</i> Campd.	Romaza	Polygonaceae	I
<i>Ugni molinae</i> Turcz.	Murtilla	Myrtaceae	N

Nota: OF= Origen fitogeográfico, I = especie introducida, N = especie nativa. s.n. sin nombre común conocido.

Fuente: Elaboración Propia.

cia de plantaciones forestales de *Pinus radiata* cubre una superficie importante, reemplazando gran parte las formaciones herbáceo-arbustivas que pudieran haber existido originalmente. Así se registraron 17 especies nativas y 9 especies introducidas (sin considerar las plantaciones en dunas no definidas) (Cuadro N° 5).

## Discusión

La morfología y la dinámica de los sistemas dunarios están dadas por factores naturales y antrópicos. Entre los primeros destaca la tectónica, la topografía, los vientos y las corrientes marinas; y entre los que se refieren a la actividad humana, destacan las técnicas y tipos de uso del suelo. De acuerdo a Paskoff y Manríquez (2004), la formación de dunas en el borde costero de la Región de La Araucanía se propicia fundamentalmente por la orientación general norte-sur de las costas y el predominio de los vientos del Suroeste que llegan a la costa de forma oblicua y hasta perpendicular en algunos casos. Por su parte, Araya (1982), indica que el predominio de las costas arenosas en la Región de La Araucanía, está influenciada por la corriente marina de la deriva litoral, que presenta una doble dirección (norte-sur y sur-norte), probablemente como consecuencia de la cercanía a la costa de la Isla Mocha.

La costa de Chile se sitúa en el margen continental activo donde la placa de Nazca subduce bajo la placa suramericana. Tal situación ha causado terremotos y tsunami, que han afectado directamente o en forma remota la morfología y morfogénesis de los espacios litorales (Paskoff & Manríquez 1999, Soto y Arriagada, 2007). Precisamente, el borde costero de La Araucanía constituye un espacio singular y de alta dinámica morfogenética reciente, que hace menos de 50 años fue afectado por el terremoto y posterior tsunami de mayo de 1960, procesos que explican el hundimiento, solevantamiento tectónico y las alteraciones provocadas por la acción de las olas. Los campos más afectados por esta acción fueron Imperial, la Barra de Toltén y Nigue Sur, los cuales están asociados a la desembocadura de cauces fluviales, cuya barra y flecha litoral fueron totalmente remodeladas. En la Figura

N° 2, es posible observar cómo los cauces en el tramo inferior se proyectan paralelos a la línea de playa en dirección norte-sur, formando extensos campos de dunas en la interface mar-río.

De acuerdo a Araya-Vergara (1996), los tipos de patrones dunarios, su evolución y morfología, parecen ser dominados por la orientación de la playa. No obstante, su clasificación morfológica implica la evaluación del grado de estabilización y el tipo de vegetación como factores fundamentales. Por su parte, el asentamiento de la vegetación depende de su posición con respecto a áreas con mayor exposición a la acción de los factores físicos y biológicos. Así es posible describir algunas formaciones típicas de dunas, como ocurre con las dunas paralelas, cuya formación se atribuye a la presencia de arenas en estado de sedimentación progradante rápida, la cual responde a un balance sedimentario positivo. Por otra parte, las dunas longitudinales generalmente se encuentran estabilizadas de forma parcial por una vegetación espontánea, densa, herbácea y arbustivas, mientras que las dunas transversales, se presentan generalmente cuando la primera formación posterior a la playa no es capaz de detener toda la arena que el viento trae desde la costa, debido a que el volumen de arena desplazado es muy grande o la vegetación presenta un frente transgresivo de deslizamiento que avanza con una velocidad que puede alcanzar decenas de metros al año (Paskoff *et al.*, 2002; Paskoff y Manríquez, 2004). Si bien estas clasificaciones permiten entender ciertos procesos, muchas veces las interacciones morfodinámicas en sistemas dunarios no quedan adecuadamente entendidas, debido a que el relieve confuso de muchas dunas costeras desafía una simple descripción (Carter *et al.*, 1990; Paskoff y Manríquez, 2004).

El factor topográfico, por su parte, determina el emplazamiento de estos sistemas dunarios sobre áreas de menor pendiente, ligadas principalmente a la llanura fluvio-marina, pero también a terrazas marinas y plataformas de baja altitud. Así, la influencia de la geomorfología en el desarrollo de los sistemas dunarios queda de manifiesto cuando se caracteriza por ejemplo, la llanura fluvio-marina ubicada entre el río Budi y el es-



tero Chelle. Esta unidad geomorfológica tiene una extensión más restringida hacia el río Budi, donde la presencia de plataformas de mayor altitud confina los campos de dunas en áreas más llanas, impidiendo su avance hacia el interior. Por su parte, las estribaciones del cordón montañoso entre Nigue Norte y Nigue Sur presentan, de cara al mar, abruptos acantilados con una altitud de 65 a 145 msnm, impidiendo que se deposite material sobre estos. Paskoff (1999) señala que un rasgo morfológico notable de las costas de Chile Centro-Norte y Centro-Sur está dado por la existencia de una terraza marina de baja altitud de edad holocénica, la cual proporciona el espacio topográfico plano favorable para la extensión de dunas activas, tal como ocurre con las dunas Puacho-Malalhue y Puyehue. Geomorfológicamente, las dunas activas en el borde costero de La Araucanía se encuentran en contacto o próximas a humedales ribereños, palustres y estuarinos, como es el caso de Deume, Puacho-Malalhue, Puyehue, Porma y Nigue Norte y Sur.

El factor climático condiciona la dinámica dunaria a un periodo restringido de verano en el cual se dan condiciones óptimas que favorecen la deflación, con vientos de magnitudes entre 4 a 10 m/s (CNE, 2003) con dirección predominante sur a sur-oeste, temperaturas sobre los 15 °C y precipitaciones que promedia los 50 mm/mes, lo que favorece que el material arenoso de playas y campos de dunas se seque, aumentando su capacidad de transporte, tal como lo describe Tavares (1996) para las dunas de Arauco.

Las formaciones activas se caracterizan por su alto dinamismo, lo que implica una mínima retención de sedimentos, puesto que prácticamente no presentan cobertura vegetal. Además, frecuentemente se encuentran expuestas a la erosión por el oleaje, la influencia de tormentas y las subidas de las mareas (Stallins, 2005). Uno de los campos que mejor representa la expansión de este tipo de dunas es Puacho-Malalhue, el cual se caracteriza por dunas borderas activas en una extensa planicie sobre la cual transita masa ganadera en los periodos de verano y donde se han realizado excavaciones para ampliar el camino paralelo al litoral.

La importancia de la vegetación para la estabilización de las dunas se fundamenta en la modificación de la velocidad del viento junto al suelo, de modo que se reduce la tensión sobre los sedimentos, frenando la arena que es transportada por el viento desde la playa (Castro, 1985; Hesp, 1991; Arkadiusz, 2005), de esta forma contribuye a la morfología de las dunas y por tanto, a la dinámica del paisaje costero (Baas, 2002). Por otra parte, Isla *et al.* (2001), indica que los procesos de fijación y forestación de dunas alteran el equilibrio sedimentario playa-duna litoral e inducen igualmente desequilibrios en los patrones de erosión costera. En el caso del borde costero de La Araucanía, se han introducido especies de plantas capaces de retener la arena, con el fin de controlar el avance de las dunas hacia el interior y evitar con ello la invasión a predios de uso agrícola (Börgel, 1986), tal como ocurre con la especie *Ammophila arenaria* y las plantaciones forestales de *Pinus radiata*; estas últimas incentivadas por el decreto Ley 701 (1974) sobre fomento forestal. Ciertamente, los campos de dunas que presentan mayor influencia del proceso de estabilización a partir de los programas e incentivos públicos son Deume (por *Ammophila arenaria*), la Barra de Toltén (*Ammophila arenaria*, *Pinus radiata*) y Nigue Norte y Sur (*Pinus radiata*).

Ramírez (1992) señala que las dunas, como formas de acumulación litoral, tienen principalmente su origen en procesos erosivos de tierras agrícolas. En este contexto, es posible mencionar la evidente deforestación de las cuencas hidrográficas del borde costero y la consecuente erosión y degradación del suelo (Guerrero, 2003; Urrutia, 2005), efectos que se han potenciado además, por el sobrepastoreo y las malas prácticas agrícolas. Nordstrom (2002), señala específicamente que dichas prácticas pueden conducir a la movilización de las dunas por efecto de un aumento de la carga sedimentaria de los cursos fluviales que desembocan en el mar. Así, la antropización y modificación de estos sistemas naturales influyen en la dinámica de la morfogénesis costera (Fernández y Borja, 2006), tal como se ha demostrado en el borde costero (Peña-Cortés, 2006 a, b y c), donde la erosión hídrica en distintos niveles ha ge-

nerado un aporte sedimentario a través de las cuencas locales y andinas (Imperial y Toltén), factor fluvial que posibilita el acarreo del material sedimentario las costas del sector. IREN (1966) ha descrito que dicho material está constituido por arenas negras y restos de material cuarcífero, de origen andesíticas y basálticas, además de un gran porción de sílice, con una granulometría media según la clasificación de Short & Hesp (1982).

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten afirmar que las dunas del borde costero de la Región de La Araucanía no son homogéneas, puesto que presentan distintos grados de estabilización y formas dunarias que responden a factores naturales y antrópicos. Así, en los últimos 40 años estos sistemas dunarios se han expandido; precisamente, en el año 1966 el catastro de IREN (1966) arrojaba una superficie de 4.134 ha de dunas, en tanto que para los años 1994 y 2004 esta superficie fue de 4.283 ha y 4.597 ha, respectivamente. Por otro lado, son significativos los campos de paleodunas con 850 ha, ubicadas al interior de los valles y sobre los cuales se requiere implementar medidas de conservación de forma de aprovechar racionalmente dichos territorios.

Estos antecedentes fundamentan la necesidad de analizar la dinámica de los sistemas dunarios para comprender su complejidad y mejorar el conocimiento científico sobre los efectos del uso de estos recursos sobre las comunidades humanas. En este marco, la gestión integrada de zonas costeras surge como una necesidad para conservar los recursos del espacio litoral, donde la toma de decisiones descentralizada y un proceso público participativo son factores relevantes para mejorar la calidad de vida de la población (Barragán, 1994). El Gobierno ha manifestado su interés por esta temática mediante la Política Nacional de Uso del Borde Costero, aprobada en el año 1994. No obstante, esto no es suficiente sin una normativa que tenga la injerencia necesaria para integrar todos los esfuerzos de la administración pública que actúan en zonas costeras (Barragán *et al.*, 2005).

## Consideraciones finales

Las dunas costeras de la Región de La Araucanía se distribuyeron de forma dispersa en 8 campos de dunas, principalmente sobre llanuras fluvio-marinas, cuya superficie sumó 4.597 ha en 2004. La clasificación de las dunas de acuerdo a su nivel de estabilización mostró la predominancia de dunas activas, sin embargo, entre 1994 y 2004 se advirtió la tendencia a la estabilización con especies exóticas, tales como *Pinus radiata* y *Ammophila arenaria*, además se comprobó la clara expansión de los sistemas dunarios en este breve período de 10 años.

Este trabajo constituye una primera aproximación al conocimiento necesario para entender la dinámica de los campos de dunas y algunos de los factores que inciden en ella. Esto es de interés y utilidad para determinar dónde se producirán los efectos de la expansión dunaria, y cuáles son las áreas que potencialmente serán afectadas por esta expansión. Así por ejemplo, es posible determinar áreas susceptibles de pérdida de suelos agrícolas y los efectos en la distribución de las comunidades vegetales propias de estos campos. Además, permite orientar los esfuerzos en el ámbito de la estabilización de las dunas (dónde, cuánto estabilizar y con qué especies), para controlar su avance y determinar por ejemplo el crecimiento potencial de las plantaciones forestales. Por último, las dunas constituyen un paisaje singular que contribuye a la protección ecosistémica y ante potenciales procesos de inundación fluvial y/o por tsunamis.

Todo lo anterior permite orientar las decisiones y los recursos en base a un conocimiento técnico y científico que favorece la gestión integrada de zonas costeras y la calidad de vida de la población.

\*Este artículo es parte de los resultados del Proyecto FONDECYT N° 1080317 "Efectos antrópicos sobre el paisaje costero de La Araucanía: Geoecología aplicada a la planificación y gestión territorial en cuencas hidrográficas".



## Referencias bibliográficas

- ARAYA, J. *Análisis de la localización de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile: Observación preliminar. Informe Geografía de Chile*, 1982, N° 29, p. 35-55.
- ARAYA-VERGARA, J. F. Sediment supply and morphogenetic response on a high wave energy west coast. *Z. Geomorphology N. F., Supplement Bd*, 1985, N° 57, p. 67-79.
- ARAYA-VERGARA, J. F. Sistema de interacción oleaje-playa frente a los ergs de Chanco y Arauco, Chile. *Cayana Oceanol*, 1996, Vol. 4, N° 2, p.159-167.
- ARKADIUSZ, T. Present-day dune environment dynamics on the coast of the Swina Gate Sandbar (Polish West Coast). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2005, Vol. 62, Issue 3, p. 507-520.
- BAAS, A. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Geomorphology*, 2002, Vol. 48, N° 1-3, p. 309-328.
- BARRAGÁN, J. M.; CASTRO, C. & ALVARADO, C. Towards Integrated Coastal Zone Management in Chile. *Coastal Management*, 2005, Vol. 33, N° 1, p. 1-24.
- BARRAGÁN, J. *Ordenación, planificación y gestión del espacio litoral*. Barcelona: Oikos-Tau, España, 1994.
- BÖRGEL, R. *Geografía de Chile, IX Región de La Araucanía*. Santiago de Chile: Instituto Geográfico Militar de Chile, 1986.
- CARTER, R. *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines*. London: Academic Press Inc., 1988.
- CARTER, R.; HESP, P. & NORDSTROM, K. Erosional processes in coastal dunes. En: NORDSTROM, K.; PSUTY, N. & Carter, R. (Eds.). *Coastal dunes: form and process*. Chichester: John Wiley and Sons, 1990, p. 217-250.
- CASTRO, C. Reseña del estado actual de conocimiento de las dunas litorales de Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1985, N° 28, p. 13-32.
- CASTRO, C. y AGUIRRE, J. La valoración de las dunas litorales chilenas como patrimonio singular. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 2003, N° 34, p. 39-52.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). *Informe final mejoría del conocimiento del recurso eólico en el norte y centro el país*. Santiago de Chile: Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 2003.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS AMBIENTALES (CONAMA y TESAM). *Metodologías para la caracterización de la calidad ambiental*. Santiago de Chile: TESAM - CONAMA, 1996.
- DAVIES, J. *Geographical variation in coastal development*. Longman: London, 1978.
- EUROPEAN COMMISSION. *Corine Land Cover 2000 Project. Italy (Web site)*. Disponible en Internet: <http://image2000.jrc.it/>
- FERNÁNDEZ, M. y BORJA, F. *Doñana y cambio climático: Propuesta para la mitigación de los efectos*. Universidad de Huelva. Madrid: WWF/Adena, 2006.
- GUERRERO, R. *Evaluación de la erosión hídrica en el Borde Costero de la IX Región de La Araucanía, en el interfluvio río Imperial y el estero Chelle*. Tesis Licenciatura en Recursos Naturales. Temuco: Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco, Chile, 2003.
- GOLDSMITH, V. Coastal dunes. En: DAVIS JR., R. A. *Coastal sedimentary environments*. New York: Springer Verlag, 1978, p. 171-235.
- HESP, P. Ecological processes and plant adaptations of coastal dunes. *Journal of Arid Environment*, 1991, N° 21, p. 165-191.
- HOFFMANN, A. *Flora Silvestre de Chile. Zona Araucana*. Santiago de Chile: Ed. Fundación Claudio Gay, 1982.

INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES (IREN). *Inventario de dunas en Chile*. Santiago de Chile: IREN, Publicación N° 4, 1966.

ISLA, F.; CORTIZO, L. y TURNO-ORELLANO, H. Dinámica y evolución de las barreras medanosas. Provincia de Buenos Aires Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 2001, Vol. 2, N° 1, p. 73-83.

MARTICORENA, C. y QUEZADA, M. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica*, 1985, N° 42, p. 5-157.

MATTHEI, O. *Manual de las Malezas que crecen en Chile*. Santiago de Chile: Ed. Alfabetá Impresores, 1995.

NORDSTROM, K. The concept of intrinsic value and depositional coastal landforms. *Geographical Review*, 1990, Vol. 80, N° 1, p. 68-81.

NORDSTROM, K. The role of humans in transforming coastal landscapes. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, N° 36, 2002.

PASKOFF, R. *Recherches geomorphologiques dans le Chili semi-aride*. Bordeaux: Biscaye Frères, 1970.

PASKOFF, R. Las dunas del litoral. *Revista Mundo Científico*, 1992, N° 8, p. 958-965.

PASKOFF, R. *Les littoraux. Impacts des aménagements sur leur évolution*. Paris: Armand Colm, 1998.

PASKOFF, R. Contribuciones recientes al conocimiento del Cuaternario Marino de Centro y Norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1999, N° 26, p. 43-50.

PASKOFF, R. & MANRÍQUEZ, H. Ecosystem and legal framework for coastal management in central Chile. *Ocean & Coastal Management*, 1999, Vol. 42, N° 2-4, p. 105-117.

PASKOFF, R. y MANRÍQUEZ, H. *Las dunas de las costas de Chile*. Santiago de Chile: Instituto Geográfico Militar de Chile, 2004.

PASKOFF, R.; MANRÍQUEZ, L.; CUITIÑO, H. y PETIOT, R. Nuevos antecedentes sobre la

geomorfología del campo de dunas colgadas de Concón (Provincia de Valparaíso, V Región, Chile). *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 2002, N° 47, p. 121-131.

PEÑA-CORTÉS, F.; HAUENSTEIN, E.; DURÁN, T; SCHLATTER, R. y TAPIA, J. *Análisis integrado del borde costero de la IX Región, propuestas y criterios para la Planificación ecológica de sus humedales. Informe Final Proyecto Fondecyt N° 1030861*. Temuco: Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco, Chile, 2006a.

PEÑA-CORTÉS, F.; GUTIÉRREZ, P.; REBOLLEDO, G.; ESCALONA, M.; HAUENSTEIN, E.; BERTRÁN, C.; SCHLATTER, R. y TAPIA, J. Determinación del nivel de antropización de humedales en base al grado de alteración de cuencas e impacto de actividades antrópicas sobre sus funciones, como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del Budi, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2006b, N° 36, p. 75-91. Disponible en Internet: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34022006000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

PEÑA-CORTÉS, F.; REBOLLEDO, G.; HERMOSILLA, K.; HAUENSTEIN, E.; BERTRÁN, C.; SCHLATTER, R. y TAPIA, J. Dinámica del paisaje para el período 1980-2004 en la cuenca costera del Río-Lago Budi, Chile. Consideraciones para la planificación ecológica y la conservación de sus humedales. *Revista Ecología Austral*, 2006c, Vol. 16, N° 2, p.183-196.

PSUTY, N. Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*, 1988, Special Issue N° 3, p. 1-4.

RAMÍREZ, C. Las dunas chilenas como hábitat humano, florístico y faunístico. *Bosque*, 1992, Vol. 13, N° 1, p. 3-8.

SOTO, M. y ARRIAGADA, J. Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central. Maintecillo-Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2007, N° 38, p. 99-112. Disponible en Internet: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext &pid=S0718-34022007000200006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext &pid=S0718-34022007000200006&lng=es&nrm=iso)

SHORT, A. & HESP, P. Wave, beach and dune interactions in southeaster Australia. *Marine Geology*, 1982, Vol. 48, p. 259-284.

STALLINS, A. Stability domains in barrier island dune systems. *Ecology Complexity*, 2005, Vol. 2, N° 4, p. 410-430.

TAVARES, C. *Propuesta de uso del suelo en las dunas litorales de la provincia de Arauco VIII Región, Chile. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales*. Concepción: Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, 1996.

TRICART, J. *Principes et Methodes de la Geomorphologie*. Paris: Masson et Cie editeurs, 1985.

URRUTIA, O. *Estado de conservación de los bosques pantanosos y su relación con*

*los ecosistemas asociados en el borde costero, entre Imperial y Queule, IX Región. Tesis Licenciatura en Recursos Naturales*. Temuco: Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco, Chile, 2005.

VAN DER MEULEN, F. & JUNGRIUS, P. The decisión environment of dinamic dune management. En: VAN DER MEULEN, F. P.; JUNGRIUS, D. & VISSER, J. H. (Eds.). *Perspectives in coastal dune management*. The Netherlands: SPB academic Publishing bv, the Hsgue, 1989, p. 133-140.

TAVARES, C. *Propuesta de uso del suelo en las dunas litorales de la provincia de Arauco VII Región, Chile. Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales*. Concepción: Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, 1996.