

Aspectos morfodinámicos de ensenadas desalineadas del litoral de Chile central. Pichilemu y caleta Los Piures¹

MARÍA VICTORIA SOTO²

RESUMEN

Las ensenadas desalineadas debido a la conformación morfoestructural del borde costero, presentan litorales arenosos caracterizados por la variabilidad de formas y procesos oceanográficos y morfológicos. La acción de la refracción del oleaje en la ensenada asociada al efecto de la saliente rocosa (*headland*) se analiza según grupos de formas sistematizados en función de la zona proximal, media y distal de las ensenadas. La dinámica de la zona de *surf*, distribución y variabilidad temporo-espacial de los tipos de zona de rompiente da cuenta de un litoral de características intermedias, preferentemente de barra y surco longitudinal (LBT). La presencia de dunas en la sección proximal de caleta Los Piures y media de Pichilemu, difiere de los patrones encontrados en otras ensenadas de Chile central.

ABSTRACT

The headland bay beach, due to its morfoestructural conformation presents sandy coast, characterized by the variability of oceanographic and morphologic features and processes. The refraction action of the surge at the cove associated to the headland effect is analyzed according to systematized groups of forms from proximal, media and distal zone of coves. The surf zone dynamics, distribution and temporal - spatial variability of wave-dominated beach types produce at this coast intermediate characteristics, longshore bar-trough (LBT). The sand dunes at Los Piures proximal and medial zones of Pichilemu differ from the dunes patterns found at other coves of central Chile.

Palabras clave: ensenada, dunas, tipo de zona de rompiente

Key words: headland bay beach, coastal sand dunes, wave-dominated beach

El concepto de bahías en espiral logarítmica fue propuesto por Yasso en 1965. Le Blon (1979) las definió en términos del balance entre el efecto de la saliente rocosa

(*headland*) y la batimetría del litoral cercano en relación a la refracción y difracción del oleaje, la pendiente de la playa, la energía del oleaje y el tamaño de los sedimentos.

¹ Análisis de las Dimensiones Físico Ambientales de los Ambientes Litorales y sus Efectos en el Ordenamiento y Planificación Territorial del Borde Costero de la Comuna de Pichilemu. Proyecto DI CSMAR, 03/03-2 Universidad de Chile.

² Departamento de Geografía, Universidad de Chile. E-mail: mvsoto@uchile.cl

Araya-Vergara (1983, 1985) al estudiar las formas y procesos de la línea de costa de Chile central emplea el término de *ensenadas en forma de zeta* para referirse a las bahías en espiral logarítmica, o también denominadas *headland bay*, o bahías *crenulate* (Lavalle y Lakhan, 1997; Martínez, 2001).

En este tipo de líneas de costa, la presencia de la saliente rocosa constituye el factor morfotectónico y estructural incidente en la evolución de estas, siendo relevantes los radios de curvatura asociados en los procesos de modelación de las ensenadas (Araya-Vergara, 1967; 1983; Lavalle & Lakhan, 1997). El *headland*, punto cero de una bahía, presenta un efecto de protección, que resulta en una distribución sistemática de la energía de onda en dirección deriva abajo de la saliente rocosa, que provoca la forma curva de la costa y que está descrita por una función logarítmica exponencial, de tal manera que en una playa la distribución de la energía de la onda cambia sistemáticamente a lo largo de la costa influida por el efecto de protección de la saliente rocosa dura (Martínez, 2001; Klein *et al.*, 2002; De Menezes *et al.*, 2000; Soto *et al.*, 2004).

Las ensenadas pueden ser clasificadas a partir del punto cero, en zona proximal, media y distal, siendo posible establecer las variaciones y diferencias entre ellas, sobre todo en cuanto a la dinámica de los perfiles de playa, tipo de zona de rompiente (*surf zone*); así como por la presencia y espesor de campos de dunas. A este respecto Araya-Vergara (1986, 1987, 1996) concluyó que las partes más anchas de los sistemas dunares están en las partes distales de ensenadas, en una posición relativa de orientación transversal, en ambiente de zona de rompiente de tipo intermedias. Martínez (2001) al estudiar las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena en Chile central, alcanza similares conclusiones. En la ensenada de Pichilemu; sin embargo, el mayor espesor de dunas está en la zona media, con tipo de rompientes interme-

dias y alta condición de ataque del oleaje (Araya-Vergara, 1983; Soto *et al.*, 2004), mientras que en caleta Los Piures se localizan en la zona proximal.

La naturaleza del emplazamiento geológico, los procesos ocurridos durante el Cuaternario, la curvatura de la bahía y la posición relativa del litoral son condiciones geográficas que permiten explicar la presencia, distribución y variabilidad de formas en las ensenadas, tal como la presencia y dinámica de dunas (Soto, 1987; 1991) y su relación con las características del litoral cercano (Araya-Vergara, 1996).

El sector de Pichilemu y caleta Los Piures fue clasificado por Araya-Vergara (1983) como un litoral con un estilo de desalineamiento (*offset*) con bahías en *Zeta*³, en que la presencia de acantilados regularizados implica una acción de ataque del oleaje más independiente de la refracción de este, que en los sectores rocosos e irregulares, presentando estos una estabilidad de mediano término, y las salientes cristalinas una estabilidad de largo término, causa esencial de irregularidades.

Martínez (2001) analizó ensenadas de Chile central con el objetivo de establecer la dinámica de estos sistemas litorales, concluyendo que el efecto de ensenada se presenta como una interacción de factores geomorfológicos y oceanográficos que inciden en las formas del litoral y los patrones dinámicos espaciales y temporales propios de estos sistemas.

Ello reviste trascendencia, toda vez que tales investigaciones se constituyen en información básica para el manejo integral de zonas costeras. Esta misma autora señala que muchas de estas ensenadas presentan usos urbanos, portuarios y turísticos recreacionales, que se han ma-

³ Araya-Vergara (1983) señala que este tipo de litoral corresponde a las bahías de medio corazón de Silvester (1960), habiendo una buena aproximación a una espiral logarítmica.

sificado en las últimas décadas sobre todo en el litoral de Chile central.

Un ejemplo de aplicación de tal dinámica litoral a partir del conocimiento de los tipos de playas o condiciones de zona de rompiente es la elaboración de los Manuales de Playa de la Coastal Studies Unit, University of Sydney (1988). Posteriormente Leahy *et al.* (1996) en Short (1999) estableció una guía de seguridad de playas, de cuatro categorías, cuyas principales variables son los tipos de zonas de rompientes y la altura de las olas.

Si bien la línea de investigación de la dinámica de la zona de *surf* ha sido muy desarrollada en Australia, Nueva Zelanda y Brasil, en Chile se conocen los trabajos de Araya-Vergara (1996), Martínez (2001), Soto (2003) y Soto *et al.* (2004), vistos desde el punto de vista geográfico. Sin embargo, Jaramillo (2004) señala, también, la importancia del conocimiento de estos estudios en la comprensión de la correlación entre la microfauna de playas arenosas y el tipo morfodinámico de playas.

En consecuencia el propósito de este trabajo es conocer la conformación geomorfológica de dos ensenadas, controladas por estructuras rocosas duras y la relación con su litoral cercano. Se analizan aspectos geográficos de localización, tales como posición relativa de la línea de costa y características del litoral cercano y la variabilidad temporal y espacial de las formas en las ensenadas a fin de poder establecer relaciones dinámicas.

Materiales y métodos

El litoral de Pichilemu se analizó desde el punto de vista de las características morfológicas de las terrazas, playas y dunas; como también, de su litoral cercano y zona de *surf*, en el contexto geográfico de una ensenada. La noción y efecto de ensenada ha sido la base metodológica

sobre la cual se analizó la morfodinámica del sistema litoral, según la conceptualización de Yasso (1965) y Le Blond (1979) y la aplicación para Chile central de Araya-Vergara (1983, 1986, 1987, 1996), Martínez (2001), Soto (2003) y Soto *et al.* (2004).

Se analizaron los tipos de zona de rompiente y su variabilidad en la ensenada, clasificándose como disipativas, intermedias o reflectivas, según taxonomía de Wright & Short (1984: En Short, 1999):

Disipativas: playas con zona de *surf* con baja gradiente y múltiples barras, que se refleja en al menos 3 líneas de rompientes, con olas del tipo derrame. Representa una condición de alta energía.

Intermedias: Corresponden a playas intermedias entre disipativas de alta energía y reflectivas de baja energía. Se clasifican en 4 tipos: barra y surco longitudinal (LBT); playa y barra rítmica (LBB); barra y rip transversal ((TBR); y, terraza de bajar mar (LTT).

Las diferencias entre cada tipo corresponden a la disposición longitudinal de las barras y las interrupciones o discontinuidades de las mismas, las que son observables a través de las rompientes y la presencia de corrientes locales. Si bien los cuatro tipos anteriores corresponden al mismo grupo, existen importantes diferencias dinámicas y morfosedimentológicas entre cada tipo. Las playas intermedias son las más recurrentes.

Reflectivas: Son playas que tienen una playa y zona de saca y resaca (*zone swash*) relativamente estrecha, escarpada, y no presentan barras. Comúnmente, hay cúspides de playa (*beachs cups*). Representa una condición de baja energía. Suelen estar ligadas a ambientes protegidos como bahías, ensenadas y estuarios.

Las categorías, anteriormente detalladas se identificaron a través de su expresión subaéreas, de las características de

las rompientes, tanto en terreno como a través de fotos aéreas con una adaptación para tal efecto de Araya-Vergara (1996).

Un aspecto importante de identificar se refirió a la condición global de ataque, concepto establecido por Araya-Vergara (1983) como el conjunto de requerimientos necesarios para que una forma de la línea litoral sea atacada por el oleaje. La condición de ataque se realizó a partir de la observación de las evidencias de incidencia del oleaje en las formas de playa, duna y acantilado, según estado del mar, sistematizado en una tabla de Medición de la Condición de Ataque del Litoral, con datos obtenidos a partir de las secuencias de playa obtenidas de perfiles realizados en terreno. La condición global de ataque se clasifica según los siguientes niveles: *Baja* (menor a 15); *Media* (16-30); y *Alta* (mayor a 30).

La condición global de ataque se extrae del análisis de perfiles de playa. Para tal efecto, se aplicó la clasificación de Araya-Vergara (1986a), en base a una taxonomía morfológica y genética, que considera la presencia de secuencias de playas y el proceso asociado; es decir, tipos de playas que pueden variar desde monosecuenciales a multisequenciales, erosionales o acresionales. El levantamiento de perfiles de playa se realizó a través de un trazado perpendicular a la línea litoral, desde el sector de máxima resaca hasta el último cordón de dunas anteriores. Los perfiles fueron realizados a través de la técnica de mira y horizonte.

Directamente asociado a lo anterior, las formas de la cara de playa (anteplaya, *beachface*) permitió reconocer la acción del oleaje a través de una interpretación morfodinámica. Las formas más indicativas fueron los microacantilados de anteplaya y las cúspides de playa (*beach cups*). Estas últimas formas son muy relevantes en la determinación de

las condiciones dinámicas de las playas (Aagaard & Masselink, 1999, Masselink, 1999) y son indicativas del ataque directo del oleaje; como también, por su relación con las corrientes de retorno (*rip current*), corrientes de playa, transversales, de gran velocidad y potencial morfosedimentológico, que circulan convergentemente entre los cuernos de las cúspides o medias lunas de playa en la sección submarina de la zona de saca y resaca.

La observación y medición de las variables analizadas fueron espacializadas a partir de las salientes rocosas duras, estableciéndose el comportamiento de la zona proximal, media y distal de la ensenada, realizando observaciones y mediciones a intervalos regulares de playa. El análisis temporal se llevó a cabo a partir de fotos aéreas de 5 fechas diferentes (1962-1963, 1978, 1994, 1997, 1998) y dos salidas a terreno en marzo y julio de 2004.

Antecedentes

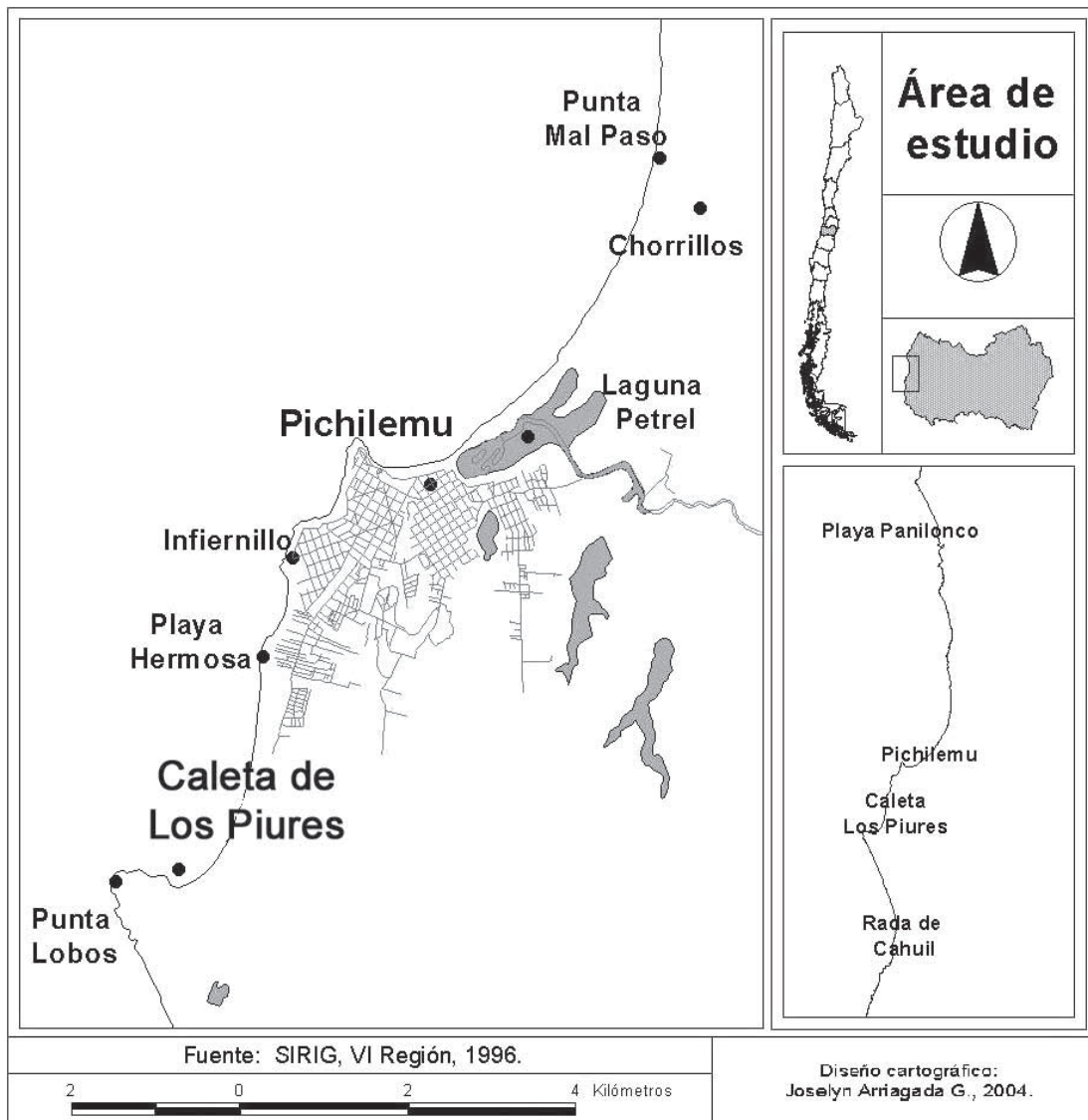
Las ensenadas de Pichilemu y caleta Los Piures, en el litoral de la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (figura N° 1), se emplazan en un sector de costa que Araya-Vergara (1983) definió como estilo en desalineamiento (*offset*), producido por las estructuras transversales, oblicuas y longitudinales que separan bloques del zócalo cristalino esquistoso. La línea de costa entre Pichilemu y caleta Los Piures tiene dirección NS, estando desalineadas del tramo Punta Lobos y Cahuil. El autor señala como aspectos relevantes de la condición de ensenada los parámetros morfométricos relacionados a las salientes rocosas duras (cuadro N° 1), como factores explicativos tanto de la dinámica de cada ensenada configurando subsistemas, como de las relaciones entre ellas, sobre todo en cuanto al transporte de masa desde la bahía desalineada sur a la de más al norte.

CUADRO N° 1
 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE ENSENADAS DESALINEADAS EN ROCAS DEL ZÓCALO CRISTALINO ESQUISTOSO EN PICHILEMU Y CALETA LOS PIURES

Ensenada	Ángulo de desalineamiento	Asimetría	Azimut	Índice de curvatura	Monto de refracción olas del SW(°)
Pichilemu	25	0,89	22	0,89	90
Los Piures	13	0,33	17	0,28	85

Fuentes: Datos extraídos de (Araya-Vergara, 1983).

FIGURA N° 1
 ÁREA DE ESTUDIO



Resultados

El litoral con ensenadas desalineadas de caleta Los Piures y Pichilemu corresponde a dos concavidades de entrante con una posición relativa oblicua, pero con características diferenciales de sus parámetros morfométricos (cuadro N° 1). Esto se evidencia en una concavidad proximal mayor en Los Piures que en Pichilemu, asociada al efecto de la saliente rocosa de esquistos de Punta de Lobos (23 m.s.n.m.) bastante más prominente que la de los arrecifes y terrazas bajas del sector Infiernillo, en Pichilemu (12 m.s.n.m.).

En ambas ensenadas las playas arenosas están limitadas por la presencia de las terrazas marinas que se localizan muy cercanas a la línea de costa. En el sector es posible encontrar hasta tres niveles de terrazas marinas diferenciadas altitudinalmente entre sí, sobre todo en la parte sur (figura N° 2), desde una terraza baja esculpida en rocas del zócalo de esquistos con cobertura de arenas en el sector Infiernillo, una terraza marina media en el rango de los 50 m.s.n.m. y un nivel superior de terraza con superficies culminantes del orden de los 90-115 m.s.n.m.

En la ensenada de Pichilemu se aprecia el marcado escarpe de terraza correspondiente altitudinalmente a la terraza marina media, la que en este caso representa una secuencia estratigráfica basal de rocas esquistosas del zócalo a la que se sobreponen depósitos de areniscas terciarias del grupo Navidad. El escarpe de la terraza se aproxima hacia la línea de costa en dirección a las partes distales de la ensenada, de tal manera que a partir del extremo sur, el litoral es de costa acantilada, con una superficie de terraza muy planiforme y solo incidida por profundas quebradas de carácter local.

Dunas

a) Ensenada Caleta Los Piures

Los cuerpos de dunas en las ensenadas en estudio presentan características

diferentes de espesor, forma y dinámica. En caleta Los Piures las dunas corresponden a cordones de dunas anteriores de *nebkas* y parabólicas, altamente degradadas en la actualidad debido a la acción antrópica en esta playa. Son en general, cordones de dunas vegetadas con especies naturales e introducidas, que conforman una franja relativamente estrecha a lo largo de la playa. Sin embargo, el mayor espesor relativo de dunas se presenta en la parte proximal de la ensenada, junto a la máxima concavidad de la bahía. Estas dunas presentan continuidad con las formas parabólicas inmediatamente al sur, en la playa de Cahuil (figura N° 2).

Al analizar el registro aerofotogramétrico de los años 1962-1963 y 1978, se observa que las dunas del sector proximal correspondían a formas de cordones transversales cortos e irregulares con evidencias de parabolización. El año 1978 estas ya presentan trabajos de control mecánico, sobre todo en el sector de Cahuil, desapareciendo el patrón transversal original y perpetuándose el parabólico, hasta los días actuales. Según fotos de detalle del año 1998 (escala 1:8.000) en la parte proximal de la ensenada se aprecian patrones de microdunas que conforman cordones de dunas anteriores, dando cuenta así de la condición de alimentación de arenas a la playa. Esta situación, sin embargo, no fue apreciada en terreno debido a la ocurrencia de un perfil de playa erosional, con microacantilado en duna, donde tales formas embrionarias habrían sido destruidas. La actividad de terreno, del mes de julio, confirmó una condición de erosión intensa de la playa, toda vez que el cordón de dunas había sido desmantelado (figura N° 3 y figura N° 4).

Los sectores medios y distales de la ensenada de caleta Los Piures no presentan evidencias de construcción ni acreción de dunas anteriores; por el contrario, estas se presentan colonizadas con vegetación y además muy degradadas.

FIGURA N° 2
CARTA GEOMORFOLÓGICA EVOLUTIVA DE LAS ENSENADAS DE CALETA LOS PIURES Y PICHILEMU

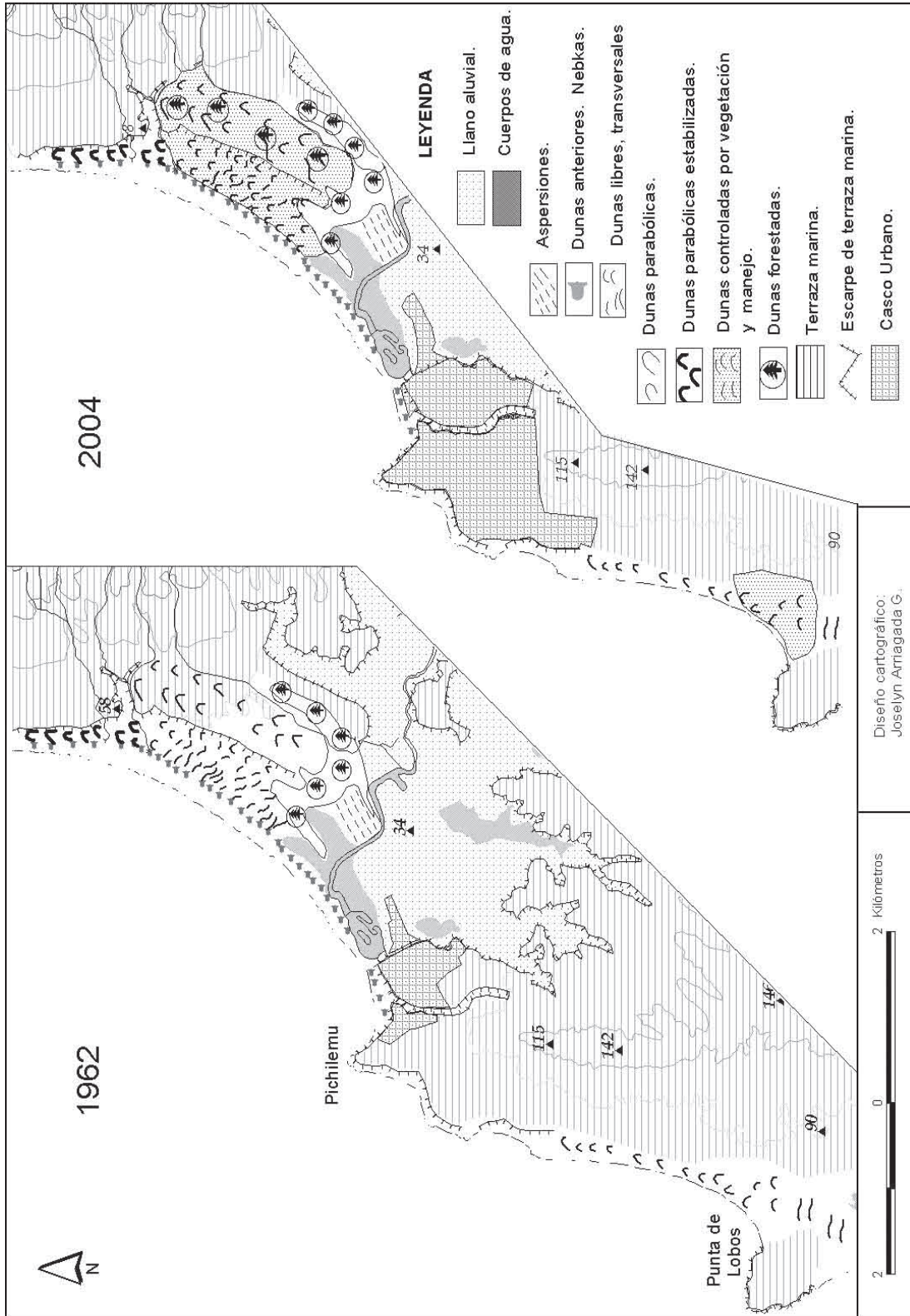


FIGURA N° 3
PARTE PROXIMAL DE ENSENADA CALETA LOS PIURES



Cordones discontinuos de dunas anteriores, cubiertos con vegetación de *Ambrosia chamissonis* y probable *Amophila arenaria*, hacia la parte superior del perfil. Es posible apreciar las condiciones del tipo de zona de rompiente intermedia, de vector longitudinal y la acción de refracción del oleaje asociado al efecto del headland de Punta de Lobos. Foto tomada en marzo de 2004.

FIGURA N° 4
CORDONES DE DUNAS ANTERIORES DESMANTELADAS DURANTE CONDICIONES DE TORMENTA



Foto tomada en julio de 2004

b) Ensenada de Pichilemu

Se aprecia un importante cuerpo de dunas que poseen la máxima amplitud en la parte media de la ensenada, conformando un sistema de dunas transgresivas cabalgando el escarpe de la terraza marina y que avanza sobre la superficie de esta. El sistema de dunas de Pichilemu, no obstante ser relativamente pequeño, presenta estructuras complejas, sobre todo el sistema más moderno de dunas activas transgresivas. Es posible apreciar al menos tres subsistemas de dunas: las anteriores, las transgresivas y las parabólicas distales.

Las dunas anteriores corresponde a cordones de *nebkas* y microdunas; estas últimas, dunas embrionarias asociadas a la vegetación de *Ambrosia chamissonis*, planta indicadora de abastecimiento actual de arenas.

Las dunas anteriores de los sectores extremos de la ensenada constituyen una franja relativamente estrecha conformada por no más de dos cordones de dunas en la parte distal y solo uno en la proximal, asociado en este caso a la fuerte intervención urbana del sector costanera. En estos cordones proximales, el interior presenta vegetación de *Carpobrotus aequilaterus*, indicadora de mayor estabilización y permanencia de la forma. En la parte media de la ensenada, las dunas anteriores conforman una franja más extensa presentando una secuencia de hasta 5 cordones sucesivos, todos vegetados y con un importante nivel de estabilización (figura N° 5). Las dunas anteriores se observan a lo largo de toda la extensión de playa, siendo recurrente además en todo el lapso analizado.

Las dunas transgresivas, se localizan en la parte central de la ensenada. Corresponden a un cuerpo de dunas que en la actualidad está totalmente cubierto con plantaciones forestales sin que exis-

tan evidencias de transgresión de arenas. El carácter transgresivo de estas dunas se debe a que cabalgan por sobre el acantilado de la terraza marina, avanzando sobre ella con formas aún perceptibles bajo la vegetación.

Las dunas transgresivas han sufrido cambios morfológicos en el período analizado; de tal manera, que las formas observadas en las fotos de 1962-1963 daban cuenta de un sistema de dunas libres, compuesto de pequeños cordones de dunas transversales de onda corta, en la parte baja, pues en la zona del escarpe se observaron formas más parecidas a dunas parabólicas. Sin embargo, las dunas de la parte alta son diferentes y corresponden a pequeños cordones transversales de mayor amplitud de onda; sobre todo, en la zona distal del subsistema coexistiendo con otros cordones transversales de tendencia más longitudinal, conformando un marcado patrón entrecruzado de onda larga. No hay evidencias de vegetación en estas dunas libres.

En las fotos de 1978, se observan trabajos de control de dunas y vegetación en las dunas transgresivas percibiéndose transformaciones en estas. Las dunas transversales de la parte baja han experimentado una evidente evolución a parabólicas individualizadas de las inflexiones de transversales, mientras que en las dunas de la terraza, el patrón entrecruzado se mantiene; no obstante, se desarrollan algunas formas parabólicas. En la actualidad, estas dunas están cubiertas por un extenso bosque, en distintas etapas de crecimiento y producción.

Las dunas parabólicas distales, han experimentado cambios asociados a su estabilización con vegetación, manteniéndose su morfología original, toda vez que la vegetación corresponde a especies herbáceas y arbustivas preferentemente.

FIGURA N° 5
CORDONES DE DUNAS ANTERIORES ESTABILIZADAS POR VEGETACIÓN, EN LA PARTE MEDIA-DISTAL DE LA ENSENADA



Foto tomada en marzo de 2004

Características del litoral cercano

a) Ensenada caleta Los Piures

El tipo de zona de rompiente analizado corresponde principalmente a tipos intermedios, variando desde *terrazas de bajamar* (LTT) a *barra y surco longitudinal* (LBT). La presencia de barras es la constante en la ensenada, siendo estas muy evidentes en la zona proximal, en donde el tipo intermedio de *barra y surco longitudinal* es lo más representativo (figura N° 3 y figura N° 6). Observaciones realizadas durante condiciones de tormenta (julio 2004) dan cuenta de un patrón con características del tipo disipativo en condiciones de alta energía, con más de tres rompientes y grandes volutas, condición uniforme para la zona proximal, media y distal de la ensenada.

La acción de la saliente rocosa de esquistos de Punta de Lobos se ve reflejada en la marcada refracción de los trenes de olas en la parte proximal de la ensenada, en un ambiente de litoral cercano asociado a la formación de barras. La zona de rompiente en esta parte es intermedia, en donde las *barras y surcos longitudinales* (LBT) adoptan una forma curva, consecuente con la concavidad de la bahía en *zeta*; entre la barra externa y la línea de resaca, se desarrolla una amplia zona sin barras. Este efecto se prolonga hasta el término de la zona proximal, que coinci-

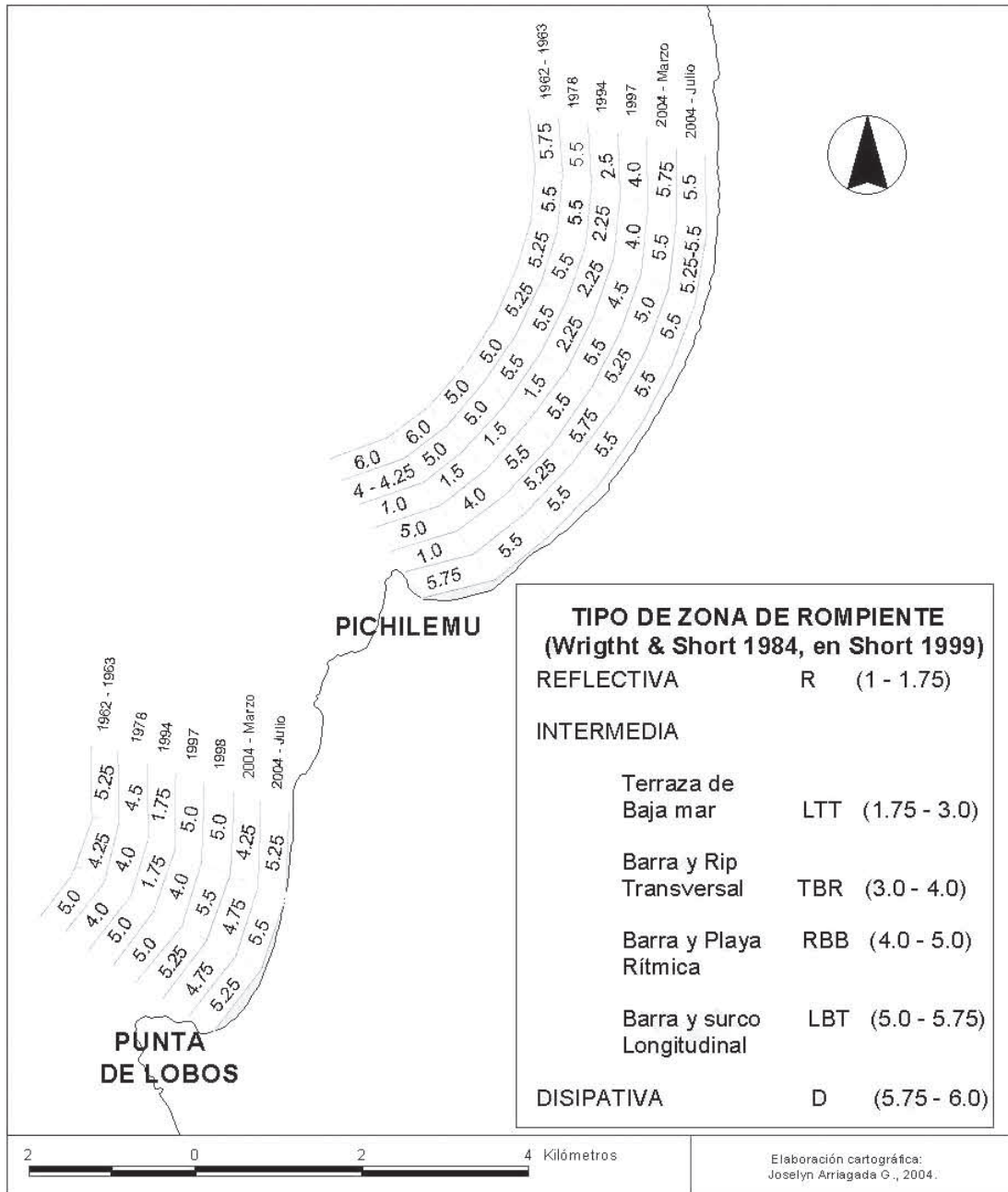
de con el fin del campo de dunas propiamente tal, y donde el litoral es de forma más rectilínea.

b) Ensenada Pichilemu

El tipo de área de rompiente analizado presenta ejemplares de zonas de rompiente reflectiva, intermedia y disipativa, variando tanto a lo largo del litoral de la ensenada, como en el período estudiado (figura N° 6). En término de las variaciones temporales, es la zona proximal la que presenta las mayores diferencias debido a que presenta los tres tipos de zonas de rompiente, que al igual que en el caso anterior, muestran el patrón curvo propio de la concavidad de la entrante de la ensenada. El área central de la ensenada tiende a variar en tipos intermedios en el rango de los vectores longitudinales, muy similar al patrón observado para la zona distal.

Las fotos del año 1994 son las que arrojan el patrón diferente, en la medida que se observan condiciones reflectivas hasta la parte media de la ensenada y, desde ahí, en dirección deriva abajo, tipos intermedios cercanos al rango reflectivo. De la misma manera, el registro de 1962-1963 da cuenta de una zona proximal claramente disipativa (6,0) y una zona media de componentes longitudinales (5,0; 5,5; 5,25) que varía a disipativa (5,75) nuevamente en la zona distal.

FIGURA N° 6
TIPOS DE ZONA DE ROMPIENTE EN LAS ENSENADAS DE CALETA LOS PIURES Y PICHILEMU.
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL



Condición Global de Ataque del Litoral

a) Ensenada caleta Los Piures

Los perfiles de playa de esta ensenada evidencian variaciones temporales y espa-

ciales en la medida que la mayor condición de ataque registrada, de nivel medio, predomina en toda la ensenada. La condición de ataque del mes de julio presenta, sin embargo, el nivel alto (48) en la parte proximal, mientras que el resto de la ensenada corresponde al nivel medio.

Se observó la presencia de cúspides de playa (*beach cups*) como formas indicativas de la acción dinámica del oleaje, entregando información diferenciada en la ensenada y en el período analizado. Durante las actividades de terreno en el mes de marzo de 2004, se encontraron evidencias claras de cúspides de playa, solo en la parte distal. En julio de 2004, las mismas formas se hallaron en la parte media y distal de la ensenada. El registro aerofotogramétrico da cuenta de este patrón. No hay evidencias de ocurrencias importantes de corrientes de retorno (*rip current*) en toda la ensenada.

b) Ensenada Pichilemu

Tal como ha sido señalado por Soto *et al.* (2004), existe una variación de la condición de ataque en esta ensenada, presentando esta un nivel de ataque alto (63) en la parte media; en tanto, el resto de la ensenada presenta una condición de ataque baja. La observación de los perfiles de playa en el mes de julio da cuenta que la condición de ataque alta se refleja en la zona media y distal de la ensenada.

Las cúspides de playa se presentan más bien en la parte distal de la ensenada. Lo observado en el mes de julio de 2004, una semana después de condiciones de bravas, da cuenta de la presencia de remanentes de *beach cups*, distribuidos en toda la ensenada, probablemente desarrollados durante esas condiciones de tormenta, en que se alteró el ambiente de energía del oleaje. Durante este evento climático se observó una condición generalizada de playa disipativa de alta energía en Pichilemu. Observación similar, se aplica para Los Piures y Cahuil, más al sur.

El registro aerofotogramétrico evidencia la presencia de cúspides de playa distribuidas desde la parte media a la distal de la ensenada. Solo en el año 1994 se aprecian estas formas en una posición más proximal, inmediatamente deriva abajo de la zona de máxima concavidad, detrás del *headland*. No hay evidencias de ocurrencias de co-

rrientes de retorno (*rip current*) en el período estudiado.

Discusión

El sistema litoral de las dos ensenadas estudiadas muestra variabilidad de las formas; tanto, entre las ensenadas contiguas como al interior de las mismas, en un período de más de 40 años. Los cambios observados corresponden a localización y morfología de dunas, tipo de zona de rompiente y condición de ataque del oleaje, en el contexto del sistema litoral de ensenadas desalineadas. Estos son analizados a partir del punto 0, en zonas proximal, media y distal de las ensenadas (cuadro N° 2).

Zona Proximal

Las zonas proximales de ambas ensenadas presentan condiciones morfodinámicas diferentes, dadas por la naturaleza propia de los respectivos *headland*: en Punta de Lobos, una prominente saliente rocosa esquistosa y en Infiernillo, una saliente rocosa menor, en altura y extensión; por ello, presentando condiciones morfométricas diferentes, de los ángulos de desalineamiento, de la asimetría, de curvatura y refracción estimados previamente por Araya-Vergara (1983). Estos parámetros de influencia morfoestructural de carácter regional, explicarían los patrones morfodinámicos diferentes de cada ensenada, que son de carácter local, tal como fue aplicado por Lavalle & Lakhan (1997) y Klein *et al.* (2002) en ensenadas del litoral del estado de Santa Catarina, Brasil.

Las zonas proximales de ambas ensenadas presentan tipos de rompiente preferentemente intermedia, condición que Martínez (2001) interpretó para las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena como caracterizadas por un mecanismo de transferencia de masa predominante a través de deriva litoral, de tal manera que la tasa de cambio debe ser alta, pero con intercambio de masa bajo. Ello explicaría la menor masa dunar en la parte proximal de la ensenada de Pichilemu.

CUADRO N° 2
SÍNTESIS DE PARÁMETROS MORFODINÁMICOS DEL LITORAL DE LAS ENSENADAS CALETA LOS PIURES Y PICHILEMU, PERÍODO 1962/1963- 2004

	Tipo de zona de rompiente	Tipo de Dunas	Condición de ataque	
			Verano	Invierno
Zona Proximal				
Los Piures	Intermedia	Anteriores y parabólicas	Alta	Alta
Pichilemu	Intermedia-Reflectiva	Anteriores	Baja	Alta
Zona Media				
Los Piures	Intermedia	Anteriores y parabólicas	Baja	Baja
Pichilemu	Intermedia	Anteriores, parabólicas y transgresivas	Alta	Alta
Zona Distal				
Los Piures	Intermedia	Anteriores y parabólicas	Baja	Baja
Pichilemu	Intermedia-Disipativa	Anteriores y parabólicas	Baja	Alta

Elaboración propia

Zona Media

En ambas ensenadas se presentan patrones diferentes, toda vez que en caleta Los Piures predominan los cordones de dunas parabólicas antecedidas por anteriores de menor expresión. En Pichilemu se localiza el campo de dunas parabólicas y transgresivas más prominente del área estudiada, cuya ubicuidad no se ajusta a lo analizado por Araya-Vergara (1986, 1987, 1996) y Martínez (2001), respecto a que los mayores espesores dunares se localizan en las partes distales de las ensenadas. Sin embargo, ello fue concluido para litorales transversales.

Predominan los tipos de zona de rompiente intermedio, de barra y surco longitudinal. En Pichilemu se observa la mayor condición de ataque del oleaje.

Zona Distal

En ambas ensenadas hay dunas anteriores conformando cordones estrechos y parabólicas, en un ambiente de zona de rompiente intermedio. Esta tipología, preferentemente de *barra y surco longitudinal*

nal, es constante en prácticamente todo el período analizado, concordando así con lo observado por Martínez (2001), en la sección oblicua del litoral de Santo Domingo en la ensenada de Cartagena.

El nivel de condición global de ataque de invierno es alto. Se observó durante condiciones de tormenta, en Los Piures, zonas de rompiente disipativa de alta energía. La constatación de formas remanentes de *beach cups* en Pichilemu, con posterioridad a las bravesas, evidencian que durante tales condiciones climático-oceanográficas, se desarrollan los cambios en la zona de *surf* señalados por Aagaard & Masselink (1999), de tal manera que esta actúa como un filtro modificando las características de las olas en función de los estados de playa (Muehe 1998).

Puede entonces haber una variación de tipo de zona de rompiente intermedia de *barra y surco longitudinal* a *barra y rip transversal* o bien, al tipo disipativo. Esto se sustenta con los resultados obtenidos por Martínez (2001), quien caracterizó las partes distales de las ensenadas estudiadas como intermedias de *barra y rip transversal*

(TBR) y *playa y barras rítmicas* (RBB); señalando también que la presencia de *beach cups* es una respuesta a los estados morfo-dinámicos de la playa asociado a diferentes niveles de energía.

La ubicuidad y variabilidad de las formas en un sistema litoral de ensenada debe ser analizada desde la perspectiva de la posición relativa del litoral y según los parámetros morfométricos de las ensenadas. Lo cual explica la existencia de las mayores acumulaciones relativas de dunas en las partes distales de la ensenada de litoral oblicuo de Santo Domingo (Vargas, 1990) y, para el litoral oblicuo de Papudo y el transversal de Cachagua (Soto, 2003).

Conclusiones

La variabilidad temporal y espacial de los ambientes de ensenadas se asocia a las características morfométricas del litoral sujeto al efecto de la saliente rocosa; las cuales a su vez constituyen una variable explicativa de las áreas fuente de sedimentos y el transporte de estos por las corrientes del litoral cercano. El tipo de zona de rompiente es preferentemente intermedio de vectores longitudinales, favoreciendo la acción de la deriva.

Entre dos ensenadas contiguas existen diferencias de ubicuidad de las formas y de dinámicas de las mismas, siendo posible establecer que hay relaciones funcionales entre estas, dadas principalmente por el transporte de sedimentos desde la ensenada sur a la norte.

La orientación del litoral es un factor relevante, sobre todo al analizar litorales transversales, pero que no explica por sí solo la conformación y dinámica de las ensenadas en litorales oblicuos.

La variabilidad del litoral cercano expresado a través de los tipos de zonas de rompiente, da cuenta de una dinámica espacial y temporal dentro de un mismo tipo de playa al interior de una ensenada. Sin embargo, la observación de las condicio-

nes de tormenta evidencia que pueden haber cambios significativos asociados a la energía del oleaje, configurando así condiciones especiales de estados disipativos o reflectivos excepcionales, en ambiente claramente intermedios.

Bibliografía

AAGAARD, T. & MASSELINK, G. The Surf Zone. In SHORT, A. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1999, p. 72-118.

ARAYA-VERGARA, J. Influencias morfo-genéticas de los desalineamientos y líneas de costa contrapuestas en el litoral de Chile central. *Informaciones Geográficas de Chile*, 1983, p. 3-23.

ARAYA-VERGARA, J. Trend analysis of shoreline changes and coastal management in Central Chile (33-34,5° S). *Actes Escursion-Symposium: La Côte Atlantique*, 1985, N° 9, p. 99-110.

ARAYA-VERGARA, J. Cambios actuales de la línea litoral en Chile central sur. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1986, N° 29, p. 23-28.

ARAYA-VERGARA, J. Toward a classification of beach profiles. *Journal of Coastal Research*, 1986a, Vol. 2, N° 2, p. 159-165.

ARAYA-VERGARA, J. The evolution of modern coastal dune systems in Central Chile. In GARDINER, V. (Ed.) *International Geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons, 1987, p.1231-1239.

ARAYA-VERGARA, J. Sistema de interacción oleaje-playa frente a los ergs de Chanco y Arauco, Chile. *Gayana Oceanol*, 1996, Vol. 4, N° 2, p.159-167.

DE MENEZES, J. & KLEIN, A. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, 2000, Vol. 16, N° 4, p. 812.

- JARAMILLO, E. Ecología de playas arenosas: Nuevas interpretaciones a los viejos paradigmas. *Resúmenes XXIV Congreso Ciencias del Mar*. Coquimbo: Sociedad Chilena de Ciencias del Mar, 2004.
- KLEIN, A.; ANDRIANI, J. & DE MENEZES, J. Shoreline Salients and Tombolos on the Santa Catarina coast (Brazil): description and analysis of the morphological relationships. *Journal of Coastal Research*, 2002, N° 36, p. 425-440.
- LAVALLE, P. & LAKHAN, V. A spatial-temporal analysis of the development of a long-spiral shaped embayment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1997, N° 22, p. 657-667.
- LE BLON, P. An explanation of the logarithmic spiral plan shape of headland-bay beaches. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1979, Vol. 49, N° 4, p. 1093-1100.
- MARTÍNEZ, C. *El efecto de ensenada en los procesos litorales de las ensenadas de Valparaíso, Algarrobo y Cartagena, Chile Central*. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 2001.
- MASSELINK, G. Alongshore variation in beach cups morphology in a coastal embayment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1999, N° 24, p. 335-347.
- MUEHE, D. Estado morfodinámico praihal no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira Oceanografica*, 1998, Vol. 46, N° 2, p. 157-196.
- SHORT, A. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.
- SOTO, M. O sistema de dunas de Chanco. Morfodinâmica e gerenciamento. *Anais IV Simpósio de Geografia Física Aplicada*, 1991, p. 202-209.
- SOTO, M. *Dinámica y tendencia evolutiva del campo de dunas de Chanco*. Memoria para optar al título de Geógrafo. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 1987.
- SOTO, M. Análisis de los cambios asociados al oleaje en una ensenada de la zona central de Chile. *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 2003, p. 135-144.
- SOTO, M.; ARAYA-VERGARA, J. y CASTRO, C. Variación de condición de ataque y de zona de rompiente en la ensenada de Pichilemu, VI Región. *Resúmenes XXIV Congreso Ciencias del Mar*. Coquimbo: Sociedad Chilena de Ciencias del Mar, 2004.
- UNIVERSITY OF SYDNEY. *Beach Types characteristics and hazards*. Sydney: The Coastal Studies Unit, 1988.
- VARGAS, I. *Interacciones oleaje-playas-dunas en Rocas de Santo Domingo*. Informe de Práctica Profesional para optar al título de Geógrafo. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía, Universidad de Chile, 1990.
- YASSO, W. Plan geometry of headland-bay beaches. *Journal of Geology*, 1965, N° 73, p. 702-714.