

Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central. Maitencillo-Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso¹

María Victoria Soto Bäuerle², Joselyn Arriagada González²

RESUMEN

La morfología de la línea de costa controlada por la tectónica y la morfoestructura ha configurado un litoral irregular con dos pequeñas ensenadas estructurales (*headland bay beach*). Las variables analizadas, como posición relativa de la costa, índice de refracción, ángulo de curvatura, tipo de playa dominada por olas y formas costeras, reflejan la existencia de dos unidades geográficas costeras diferentes. La presencia de dos ensenadas relativamente contiguas pero diferentes en cuanto a su forma litoral redundan en significativas diferencias dinámicas entre ellas y al interior de las mismas. Maitencillo-Cachagua es una playa de orientación transversal en que predominan las condiciones de playa del tipo intermedio, específicamente de barra y *rip* transversal, con una alta dinámica del oleaje, que se traduce en una fuerte condición de erosión estacional de la playa y acantilado; existen diferencias dinámicas y de ataque del oleaje entre la zona proximal, media y distal. Papudo es una costa oblicua, claramente reflectiva y en donde la energía del oleaje presenta una dinámica de bajo impacto en las formas de la playa. No se presentan grandes diferencias estacionales y espaciales en la dinámica de los patrones dinámicos del oleaje en la ensenada.

Palabras clave: Ensenada, condición de ataque, playa dominada por olas.

ABSTRACT

The morphology of the coastline controlled by the tectonics and the morfoestructura has formed the irregular coast, with two small headland bay beaches. The variables that were analyzed - like relative position of the coast, refractive index, angle of curvature, type of beach dominated by waves and coastal forms - reflect the existence of two different coastal geographic units. The presence of two relatively contiguous but different beaches as far as its coastal form results in significant dynamic differences among them and to the interior of the same one. Maitencillo-Cachagua is transverse and intermediate beach, specifically transverse bar and beach, with the wavy high dynamics, that is translated in a strong condition of seasonal erosion of the beach and cliff; dynamic differences and wavy attack between the proximal, media and distal zone exist. Papudo is an oblique coast, clearly reflecting and in where the wavy energy presents a dynamics of low impact in the forms of the beach. Great seasonal and space differences in the dynamics of the dynamic patterns of the surge in the headland bay beach do not appear.

Key words: Headland bay beach; wavy attack condition, wave-dominated beach types.

¹ Proyecto financiado por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. Artículo recibido el 9 de abril de 2006 y aceptado el 8 de octubre de 2007.

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

Desde el punto de vista de la conformación y evolución de la línea de costa chilena, las playas, bahías y ensenadas están estrechamente ligadas a condiciones morfoestructurales, tectónicas, morfodinámicas, oceanográficas y ambientales, que controlan la dinámica del litoral cercano.

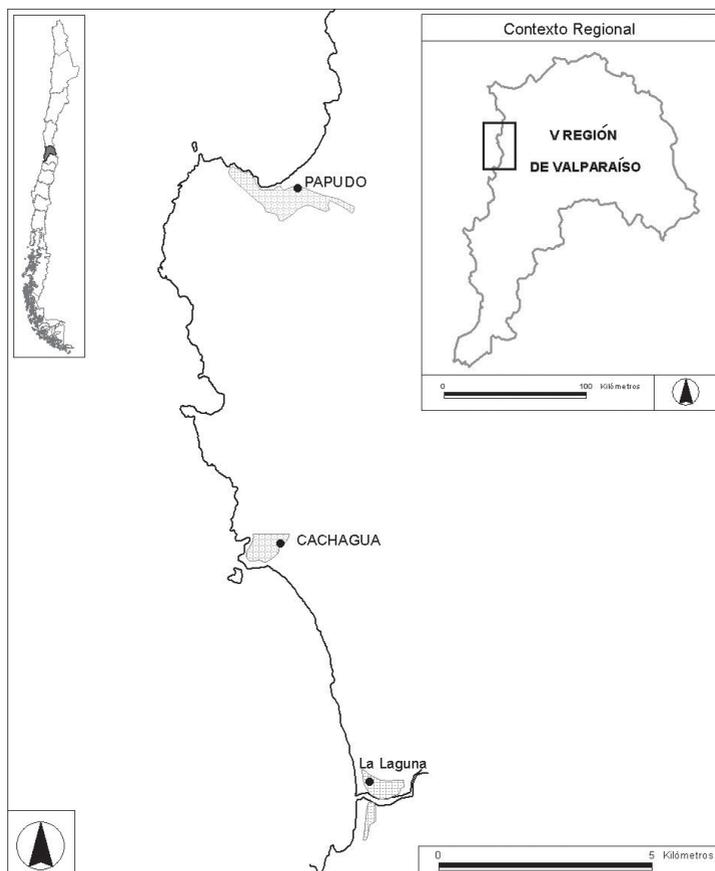
Tales procesos dinámicos se asocian a un ambiente tectónicamente inestable debido a las condiciones de subducción de la Placa de Nazca y la Sudamericana, cuyas sucesivas pulsaciones inciden en solevantamiento o hundimiento. En este escenario, hay datos que dan cuenta que el evento sísmico del 3 de marzo de 1985 causó un solevantamiento de la zona costera de Chile central de 0,5m (IGM, 1984 - 1985; Monje, 1986; Cas-

tilla, 1988; Barrientos & Kausel, 1990; Hervé *et al.*, 2003). González (1997) señala que durante el siglo pasado ocurrieron tres grandes sismos en Chile central: el de Valparaíso en 1906, en que la costa sufrió un levantamiento de entre 0,4 m y 0,5 m; el de La Ligua en 1971 ($M_s = 7.9$) y el de San Antonio, en 1985, ya citado.

Asociado a este complejo espacial ligado a la morfoestructura y geodinámica exógena, se han desarrollado las unidades costeras denominadas ensenadas, que constituyen sistemas complejos muy recurrentes en el litoral chileno.

El concepto de ensenadas ha sido reconocido por Yasso (1965), Le Blond (1979), y

Figura N° 1
ÁREA DE ESTUDIO: CACHAGUA Y PAPUDO, V REGIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Lavalle & Lakhan (1997). Este mismo concepto ha sido tratado como *headland bay beach* por Short (1999); Bird (2000); Klein & De Menezes (2001) y Klein *et al.* (2002).

Estas unidades espaciales complejas fueron reconocidas en Chile central por Araya-Vergara (1983; 2003) usando el término "ensenadas en forma de zeta" y aplicando a ellas el denominado efecto de ensenada.

En estas ensenadas, la presencia y el efecto de protección del promontorio rocoso asociado (*headland*), se traduce en la distribución sistemática de la energía de onda en dirección deriva abajo, desde la zona proximal a la distal (Araya-Vergara, 1996 y 2003; Martínez, 2001; Soto *et al.*, 2004; Soto, 2005a; Soto, 2005b; Muñoz, 2005). El *headland* se considera el punto cero de la ensenada y corresponde al promontorio rocoso remanente de la erosión diferencial, que a su vez está fuertemente controlado por la estructura y la tectónica. Los últimos aportes se orientan al desarrollo y aplicación de un modelo de la forma de playa (Benedet *et al.*, 2004; Benedet *et al.*, 2005; Lausman *et al.*, 2006).

Los aspectos físicos del territorio asociado al borde costero de Chile ha sido analizando desde diferentes puntos de vista, destacando los trabajos de Araya-Vergara (1983; 1985; 1986; 1996; 2003) en un análisis genético y evolutivo de los procesos de playas, dunas y terrazas marinas, y Martínez (2001) y Soto (2003; 2005a; 2005b) analizando ensenadas de Chile central. Los aportes de Castro *et al.* (2001); Castro y Aguirre (2003); Castro (2004); Castro y Brignardello (2005); Andrade *et al.* (2004) enfocados a las componentes morfológicas y ambientales de las playas.

Consecuente con los antecedentes anteriores, el propósito de esta publicación es analizar las relaciones entre la dinámica del medio físico natural, centrado en las relaciones del litoral cercano y cómo estas inciden en las formas y procesos geodinámicos del litoral, de las playas y acantilados.

El área de estudio corresponde al borde costero de Chile central que comprende los balnearios de Laguna de Zapallar, Cacha-

gua, Zapallar y Papudo en la V Región de Valparaíso, entidades pobladas que han experimentado un fuerte incremento de la construcción de viviendas e infraestructura asociada, emplazándose en terrazas marinas, dunas y acantilados (Figura N° 1).

Materiales y métodos

Ensenadas estructurales

Como base metodológica y conceptual, desde el punto de vista del espacio físico, se consideró como unidad territorial básica de análisis a la ensenada (*headland bay beach*), debido a que conforman sistemas geográficos propiamente tales, caracterizadas por una sistemática de cambios temporales-espaciales de los procesos y formas asociadas.

Los conceptos fundamentales para la comprensión de la dinámica del medio físico se centraron en la orientación y alineamiento de las playas (Araya-Vergara, 1982) y en la cartografía geomorfológica del litoral.

Playas dominadas por olas

Un concepto relevante para la sistematización y síntesis de la dinámica oceanográfica del ambiente de costa, se puede encontrar en la taxonomía de Short (1999), de playas dominadas por olas. Los estudios realizados en Australia por Short (1999; 2005), y en Chile (Araya-Vergara, 1996; Martínez 2001; Soto 2003; 2005a; 2005b; Soto *et al.*, 2004) dan cuenta de su importancia en la caracterización dinámica de las costas. Este concepto se refiere a los estilos de las rompientes en una playa, como el reflejo de su topografía submarina y las corrientes locales asociadas, reconociéndose también formas de erosión y deposición a través de la presencia y disposición de barras y surcos.

En las playas dominadas por olas, la zona de las rompientes es clasificada como reflectiva, disipativa o intermedia, cada una de las cuales presenta una condición morfosedimentológica y dinámica que explica los procesos que ocurren en el litoral y playa arenosa adyacente. Esta taxonomía se resume de la siguiente manera:

Disipativas: playas con zona de *surf* con baja gradiente, 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. Las intermedias se clasifican en 4 tipos según la disposición 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. Las playas intermedias son las más recurrentes.

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

Para la identificación de este parámetro se aplicó la clasificación antes citada y la adaptación de Araya-Vergara (1996), para el uso con fotos aéreas. Tales condiciones se analizaron a partir de los patrones encontrados en fotos aéreas de tres fechas diferentes (1980, 1994 y 2001). Se realizó también trabajo de terreno, monitoreando los 21 puntos de control en invierno y verano durante el período 2003 - 2005 y observaciones no sistemáticas en 2006 y 2007.

Condición Global de Ataque del Oleaje

Otro parámetro de dinámica e impacto del oleaje empleado fue la determinación de la "Condición Global de Ataque", concepto que sintetiza los aspectos morfológicos y genéticos de las playas que son atacadas y consecuentemente dinamizadas por el oleaje. Para ello se trabajó con perfiles de playa realizados en invierno y verano durante dos años; estos perfiles sintetizan las características de forma y proceso de una playa embestida por el oleaje, en donde la presencia de microacantilados de playa, en duna y terrazas marinas son indicativas de una mayor energía del oleaje y consecuentemente de erosión del litoral. La Condición Global de Ataque se clasifica según los siguientes niveles: Baja (menor a 15), Media (16 - 30), Alta

(mayor a 30), tal como definido por Araya-Vergara (comunicación verbal). Esta clasificación ha sido empleada para Chile central por Martínez (2001); Soto *et al.* (2004); Soto (2005a; 2005b).

El ambiente morfológico de las playas arenosas fue analizado desde el punto de vista de las formas propias del ambiente costero, identificando la dinámica de la playa, dunas y terrazas marinas, expresado a través de cartas geomorfológicas. Este análisis se realizó basado en fotointerpretación y trabajo de terreno.

Cartografía de procesos

La confección de cartografía de las diferentes variables involucradas se realizó a través de herramientas SIG, y la consecuente base de datos asociada permitió analizar las relaciones espaciales a través de la superposición de variable, como la vía instrumental del análisis integrado.

Resultados

Análisis morfológico de las ensenadas

El borde costero en estudio se destaca por la presencia de terrazas marinas elevadas tectónicamente, con una cobertura de arenas de origen eólico, en las que se observan incipientes procesos de desarrollo de suelo. Junto a estas terrazas marinas del Cuaternario, coexisten estribaciones de la cordillera costera, de edad Jurásica y naturaleza cristalina (Españeira, 1989), conformando una línea litoral caracterizada por estructuras rocosas duras, resistentes a la erosión marina y que constituyen prominentes puntales y salientes rocosos, playas arenosas, pequeños cuerpos dunares actuales, acantilados e islas arrecifales (Figura N° 2).

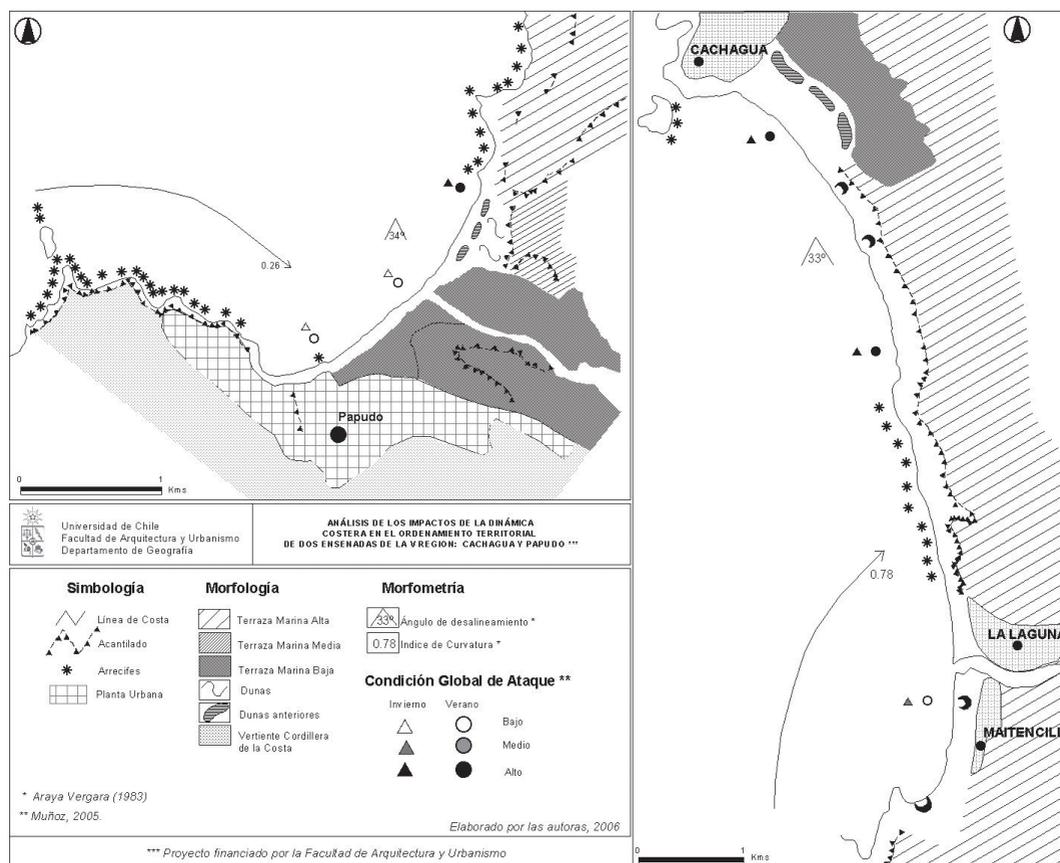
La conformación de una línea de costa irregular se asocia a la evolución morfoestructural y tectónica del litoral, configurando así una costa de bahías y ensenadas desalineada (Soto, 2005a; 2005b). Las playas presentan diferentes orientaciones, de tal manera que Maitencillo y Cachagua son de posición transversal y Papudo oblicua.

Condición Global de Ataque del Oleaje en playas y acantilados

Las playas arenosas han sido analizadas desde el punto de vista del impacto que reciben del oleaje. A través de la realización de perfiles transversales en las playas se pudo establecer las diferencias evolutivas y genéticas existentes, encontrándose notorias contrastes entre los perfiles de invierno y verano, como en la misma estación del año, demostrando la gran variabilidad y dinámica temporo-espacial de las formas. A partir de esta información se estableció también la Condición Global de Ataque del Oleaje, que es un indicador de la acción dinámica del litoral en la playa, dunas y acantilados.

Existen ciertos patrones importantes de destacar, como que la más alta Condición de Ataque que presenta en la sección media de la playa de Cachagua (Figura N° 2), en donde la playa arenosa es muy estrecha debido a la presencia del escarpe de la terraza, presentando recurrentemente un perfil erosional (Figura N° 3). El sector corresponde a un estado observado en enero de 2004, cuando existía una circa de abrasión activa, desarrollándose procesos de remoción en masa en la parte superior del escarpe de la terraza asociado a la erosión basal y retroceso del acantilado. En diciembre de 2005, el lugar presentaba una playa arenosa más amplia, sin evidencias de ataque basal del acantilado. En noviembre de 2006 y febrero de 2007, el lugar efectiva-

Figura N° 2
GEODINÁMICA DE LAS ENSENADAS DE CACHAGUA Y PAPUDO



Fuente: Elaboración propia.

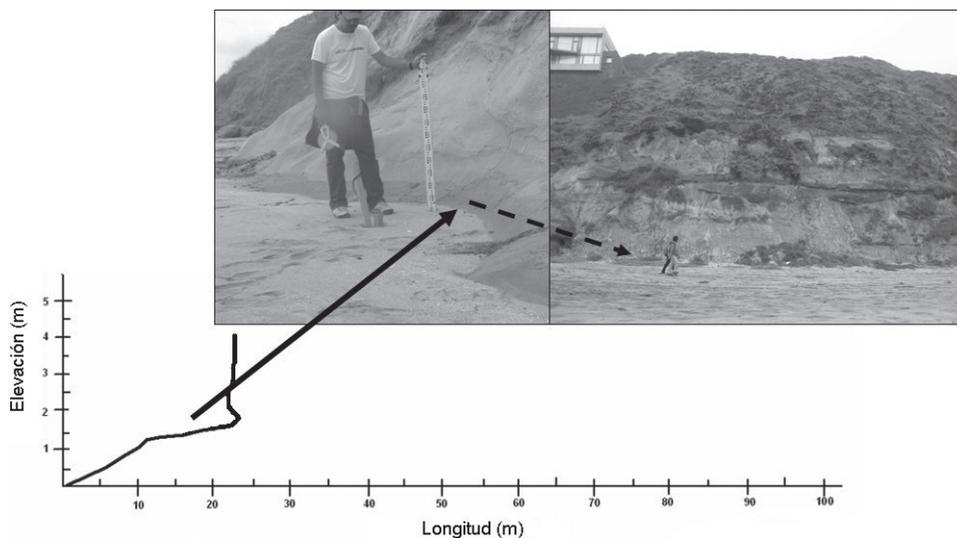
mente no había sido atacado en la base del acantilado donde había desarrollo de microdunas estabilizadas con vegetación y la playa arenosa era considerablemente más amplia, sin evidencias de embestida del oleaje.

Esta condición de ataque alto es muy característica de la zona central o media de la ensenada, siendo observada estacionalmente en el punto de control de mediciones de playa, inmediatamente al norte del sector anteriormente descrito (Figuras N° 4 y N° 5). En esta sección de la ensenada la intensa erosión de la anteplaya expuso estratos de roca dura pertenecientes al substrato rocoso del litoral, que, sin embargo, durante el período estival 2007 fue nuevamente recubierto por arenas, demostrando una dinámica estacional y episódica de erosión/sedimentación de esa sección de la ensenada. Si bien tal proceso cíclico es propio de las playas arenosas, la condición de ataque existente no puede ser obviada, porque ella también es recurrente, y con un mayor impacto territorial que la condición de deposición.

Ligado a estas condiciones de ataque alto, la presencia de evidencias estacionales y permanentes de erosión basal del acantilado son signos de la energía del oleaje en la ensenada, principalmente en la zona media, en donde morfológicamente la playa es estrecha y el acantilado de material sedimentario inconsolidado está muy cercano a la línea litoral y susceptible a su embestida. Esta condición dinámica ha tenido un impacto en los usos del borde del acantilado, pues para mitigar los efectos de la acción recurrente del oleaje, se han construido muros de contención y enrocados (Figura N° 5). La imagen del lado derecho muestra a un observador con la mira topográfica extendida, es decir, con una altura de 4 m (todo este sector de acantilado hasta llegar a La Laguna está loteado como sitios urbanos).

Si bien se ha demostrado que esta sección de la ensenada es susceptible al ataque del oleaje, con un alto impacto en las formas del litoral, también hay que destacar que estas son altamente dinámicas en el tiempo y el espacio, caracterizando de esta manera a esta sección de la ensenada con

Figura N° 3
PLAYA DE CACHAGUA. PUNTO DE CONTROL CON MÁXIMA CONDICIÓN DE ATAQUE DEL OLAJE. LA MIRA TOPOGRÁFICA INDICA UNA ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA DE 23 CM COMO CONSECUENCIA DE LA EMBESTIDA DEL OLAJE, EN ENERO DE 2004. LA FOTO DE LA DERECHA CORRESPONDE A NOVIEMBRE DE 2006



Fuente: Elaboración propia.

una alta condición de amenaza y de vulnerabilidad actual y potencial.

Tal condición dinámica se refuerza al comprobar cómo las formas se desarrollan, evolucionan y luego se estabilizan, siendo cada uno de estos estados relativos a la condición del oleaje.

Figura N° 4
EROSIÓN DE PLAYA EN LA SECCIÓN MEDIA DE LA ENSENADA DE CACHAGUA.
MICROACANTILADO EN LA ANTEPLAYA



Fuente: Colección personal de los autores.

Un ejemplo de esta alta dinámica morfológica se expresa en la presencia de una circa de abrasión no observada durante los años anteriores de investigación y que en noviembre de 2006 estaba siendo atacada por el oleaje. Ello implicó procesos de remoción en masa y aflojamiento de rocas duras del substrato subyacente del litoral. El mismo sector en febrero de 2007 ya había sido rellenado por arenas y la circa no estaba siendo atacada por el oleaje. El aporte de arenas era significativo pues se observa un aumento en la altura relativa de las secuencias de la playa (Figura N° 6). Como referencia se señala la escala de acceso, la que durante la condición de erosión fue totalmente atacada por el oleaje, en tanto en los meses siguientes, experimentó un notable proceso de acreción.

La situación encontrada en la ensenada de Papudo da cuenta de una importante variabilidad de las formas de la playa; en verano hay una condición de ataque de nivel bajo en gran parte de la ensenada, asociado a que la alta playa logra ser embestida solo en períodos de bravesas. La parte norte de la ensenada presenta una Condición Global de Ataque más alta, en condiciones de pla-

Figura N° 5
CACHAGUA. SECTOR DE MÁXIMA CONDICIÓN DE ATAQUE DEL OLAJE, DONDE SE PRODUCE EROSIÓN BASAL DEL ACANTILADO Y REMOCIÓN EN MASA ASOCIADO AL RETROCESO DEL MISMO



Fuente: Colección personal de los autores.

Figura N° 6
DINÁMICA DE EROSIÓN Y DEPOSITACIÓN EN ACANTILADO Y PLAYA ASOCIADA



Fuente: Colección personal de los autores.

yas con un ancho del orden de los 100 metros, salvo en la parte central y sur, en que hay un fuerte control por la costanera, la que no es atacada por el oleaje. Sin embargo, hay que destacar que los niveles de ataque del oleaje de Papudo son totalmente diferentes a los encontrados en Cachagua, en la medida que la primera de presenta como una ensenada donde predominan las condiciones ligadas a la baja energía del oleaje.

Dunas

Las dunas son formas poco representativas desde el punto de vista territorial en ambas ensenadas, pero son muy relevantes como evidencias morfológicas de los procesos geodinámicos ocurridos durante el Cuaternario. Estas formas se localizan en las partes sur o distales de cada ensenada, conformando pequeños depósitos de importancia local. Las dunas de Cachagua, las más amplias, corresponden a un depósito eólico de baja altura, asociado más bien a formas deflacionarias indiferenciadas, al igual que el muy reducido depósito de Papudo. Ambos sectores de dunas se encuentran muy degradados por la construcción de viviendas y áreas deportivas.

Si bien la dinámica de estas acumulaciones es muy baja, la presencia de cordones de dunas anteriores (*foredunes*), sobre todo en Cachagua da cuenta de que hay abasteci-

miento de arenas a la playa, que es absorbido por estas dunas borderas naturales. Estas dunas anteriores se desarrollan en la zona distal de Cachagua en donde el acantilado se aleja de la playa y en Maitencillo y La Laguna. En Cachagua el cordón de dunas anteriores, más alto y ancho, cierra las quebradas locales que no logran encontrar su nivel de base local y generan áreas de mal drenaje permanente, bastante amplias en invierno, pero sin generar problemas de inundación en las áreas construidas aledañas.

Análisis del ambiente oceanográfico

Ambiente de surf beat

Para establecer las condiciones del oleaje y sobre todo, identificar el comportamiento del *surf beat*, aquella ola de mayor período y altura y mayor poder de ataque en la playa, se procedió a realizar mediciones de altura de olas (H_b) del mar de fondo, en enero de 2006 (Figura N° 7).

De acuerdo a las mediciones realizadas solamente en la ensenada de Maitencillo-Cachagua, se puede señalar que el comportamiento del oleaje es diferencial a lo largo de ensenada. En la zona proximal (Maitencillo), existe un patrón generalizado de olas que alcanzan los 2,0 m. Se presenta una

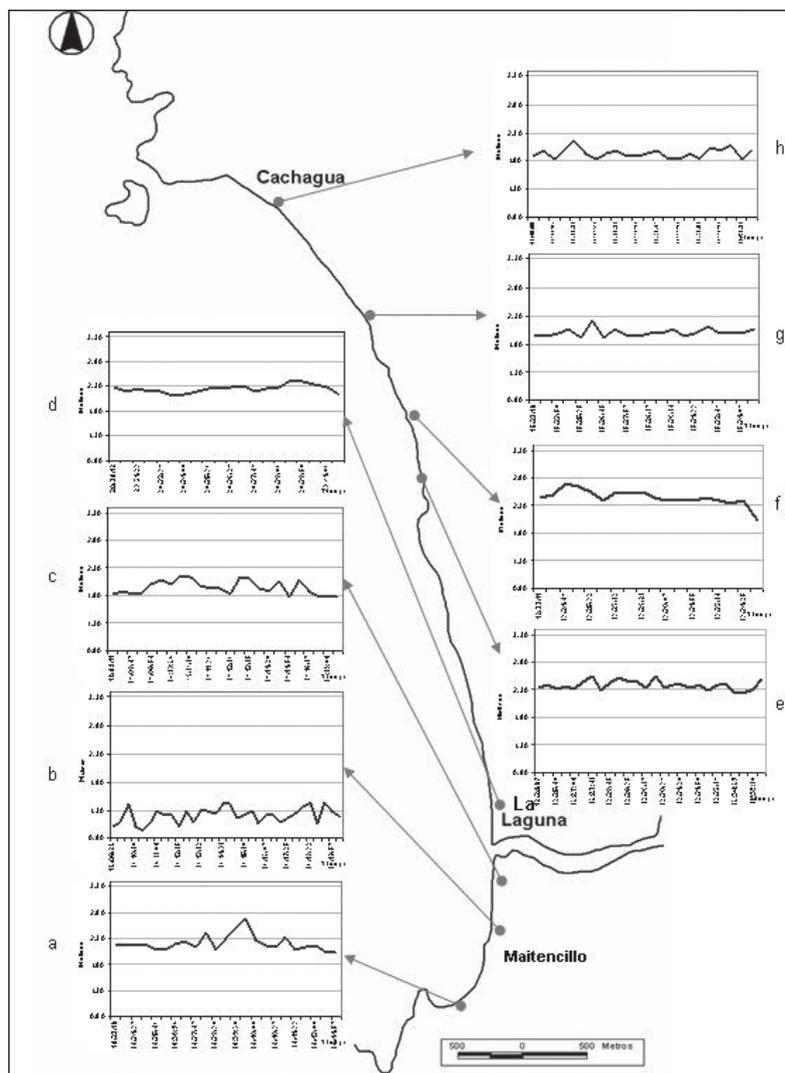
condición especial en que la altura de ola es significativamente más baja, en donde no superan los 1,50 m. En el sector de La Laguna, las alturas oscilan entre los 2,0 y 2,30 m, produciéndose localmente un leve incremento en la altura de las olas (Figura N° 7). En lo que respecta a la zona media de la ensenada, las alturas de olas sobrepasan los 2,0 m. Existe también una mayor fluctuación con respecto a las alturas de las olas significativas, pues llegan a alcanzar alturas mínimas de 1,80 m.

Hay una amplitud del período de las olas significativas, de tal manera que hubo minutos en donde se observó solo una (1) ola significativa. El período del *surf beat* osciló entre los 3 y 4 minutos.

Playas dominadas por olas (tipo de zona de rompiente)

A partir de los antecedentes anteriores y reconociendo que ambas ensenadas presentan una posición relativa diferentes (Figura

Figura N° 7
MEDICIONES DE ALTURAS DE OLAS SIGNIFICATIVAS, ENSENADA DE CACHAGUA.
PERÍODO DE SURF BEAT



Fuente: Elaboración propia.

Nº 2), existen también condiciones dinámicas desiguales, de tal manera que en la costa oblicua de Papudo son recurrentes las condiciones reflectivas, es decir, con una playa y zona de saca y resaca (*zone swash*) relativamente estrecha y escarpada. Se trata de una condición de baja energía, estando ligada a ambientes protegidos; la playa de Zapallar presenta también este estilo.

En la playa transversal y directamente enfrentada al oleaje del mar de fondo de Maitencillo-Cachagua, predominan los tipos intermedios que explican las corrientes de retorno muy frecuentes en Cachagua, La Laguna y Maitencillo, como también la deposición de dunas en Cachagua y los altos niveles de Condición de Ataque del Oleaje. Ello se expresa en el riesgo para los usuarios de las playas y la erosión de acantilados, dunas y playas.

Cachagua es una costa transversal, con tipos de rompientes intermedia de barra y *rip transversal*, en ambiente de alta energía, lo que incide en una transferencia transversal de sedimentos, como también una fuerte condición de ataque en la medida que los trenes de olas del mar de fondo embisten perpendicularmente la playa arenosa. El oleaje incide de manera casi perpendicular en esta zona de la ensenada, lo cual se traduce en la morfología de las playas (Figura

Nº 8). Las formas de la anteplaya, de las cúspides de playa (*beach cups*) dan cuenta del ataque frontal del oleaje del mar de fondo imprimiendo al sector una condición de ataque alta.

Una situación especial se observó en julio del 2004 (Figura Nº 9), con un predominio de playas intermedias del tipo Barra y Surco Longitudinal, lo cual podría explicarse por la fecha en que se hizo la medición, lo que se traduce en condiciones de braveza, lo cual inhibe la formación de barras y surcos transversales.

En lo que respecta a la zona proximal de la ensenada (sur), existe un predominio de las condiciones intermedias, oscilando entre Terraza de Bajamar (julio de 2004) y Barra y surco Longitudinal (1994).

De acuerdo a la variabilidad espacial y temporal de las condiciones de playas dominadas por olas (Figura Nº 9), se puede señalar que en Papudo se da un comportamiento bastante homogéneo, con un marcado predominio de las condiciones de tipo Reflectivo de baja energía (desde el año 1994 a enero del 2004), en donde prima la transferencia de masa en dirección de la deriva. En el caso de julio del 2004, se advierte un cambio en este patrón, llegando a un tipo intermedio (*Terraza de Bajamar*).

Las ensenadas estructurales y dinámica litoral

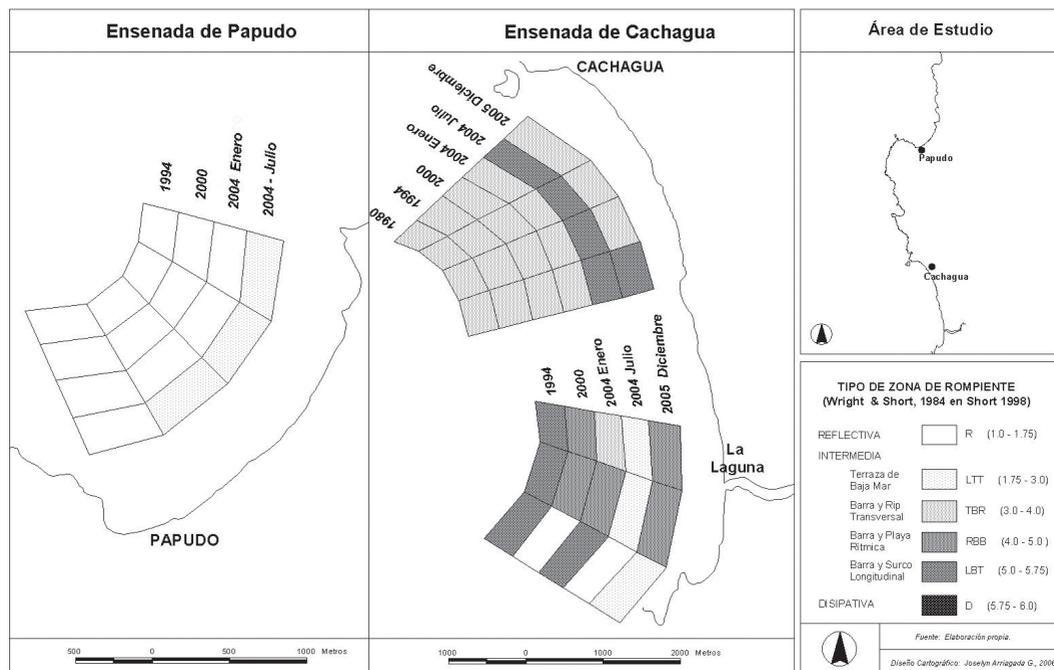
Las ensenadas de Maitencillo-Cachagua y Papudo presentan condiciones de su dinámica natural, especialmente aquella relacionada con los agentes oceanográficos, propias de cada emplazamiento morfoestructural, y que las hace diferente entre sí. La orientación y posición de cada ensenada (Figuras Nº 2 y Nº 9) incide en una condición de dinámica costera característica, que se traduce en los tipos de zonas de rompiente, las condiciones de corrientes locales y transferencia de masa, Condición de Ataque del oleaje (asociado al proceso de refracción del oleaje) y la presencia de formas litorales características como dunas y acantilado y las condiciones de geodinámica actual de ellas.

Figura Nº 8
CACHAGUA. TIPO DE ZONA DE ROMPIENTE DE BARRA Y *RIP TRANSVERSAL*, QUE INCIDE EN CORRIENTES DE ALTA VELOCIDAD, CORRIENTES DE *RIP CURRENT*



Fuente: Colección personal de los autores.

Figura N° 9
TIPOS DE ZONA DE ROMPIENTE, ENSENADAS DE PAPUDO Y CACHAGUA



Fuente: Elaboración propia.

Maitencillo-Cachagua es una costa transversal, en que predominan las playas dominadas por olas de tipo intermedia de barra y *rip transversal*, en ambiente de alta energía, lo que incide en una transferencia transversal de sedimentos, como también en una alta condición de ataque en la medida que los trenes de olas del mar de fondo embisten perpendicularmente la playa arenosa. Ello impacta las formas de la playa bajo la presencia de las formas de erosión de las secuencias de playa, dunas y acantilado.

Papudo a su vez es una ensenada de condiciones reflectivas de baja energía, en donde prima la transferencia de masa en dirección de la deriva. Presenta un sector de costa acantilada esculpida en rocas duras y relieves de la cordillera de la costa, y en la parte central de la bahía, terrazas costeras de baja altura totalmente desactivadas por el mar actual (Figura N° 2), en donde igualmente se puede identificar un escarpe notorio.

El balneario de Papudo corresponde a una costa reflectiva, que debido al prominente *headland*, le imprime una condición de baja energía. En la parte norte existen terrazas bajas con cobertura eólica, totalmente exentas de la acción del mar ya sea en condiciones normales o de bravesas, estando en un área probable de inundación por tsunamis. Coincide además, con el actual emplazamiento del área urbana de Papudo.

Discusión y conclusiones

De los antecedentes anteriormente expuestos se concluye que el ambiente litoral o costero es muy dinámico, pero que esa dinámica no es homogénea, sino que varía en intensidad y tipo de proceso de acuerdo a la forma de las playas y cómo estas reciben el ataque del oleaje. En este contexto se desprende también que al existir diferencias entre playas, también las existen al interior de una ensenada o bahía, pues las variables oceanográficas interactúan en función a la geometría de cada sección litoral.

La ensenada de Cachagua es una bahía mucho más activa en término de los procesos oceanográficos al ser comparada con Papudo, cuyas condiciones reflectivas de bahía protegida incide en condiciones más benignas del oleaje.

En ambas ensenadas es importante la presencia de arrecifes, lo que da cuenta de la fuerte influencia del oleaje en estas costas, además de la transferencia de masa y energía. En Cachagua se tiene una directa influencia de la corriente de deriva, transportando sedimentos hacia el norte, llegando a depositar arena en el sector norte de la ensenada. De igual manera, en Papudo se da una situación similar, dado que la presencia de dunas se da también en el sector norte.

La gran diferencia entre ambas ensenadas está dada por la respuesta al oleaje predominante, por lo cual se concluye que el principal factor que las diferencia es su posición relativa con respecto a este. Ello conlleva diferencias en la respuesta morfológica en el paisaje subaéreo, en donde se incluye el tipo de zona de rompiente, perfiles de playa, lo que conlleva finalmente, a diferencias importantes en la condición de ataque en ambas ensenadas.

La integración de variables del ámbito físico con las de crecimiento urbano arroja conflictos y riesgo para el uso y habitabilidad del territorio costero, sobre todo en Cachagua, en donde la fuerte acción del oleaje y la presencia de una terraza frecuentemente embestida por el oleaje, incide en una alta condición de riesgo para uso urbano, no obstante los instrumentos de planificación lo permiten, de la misma manera que en dunas antiguas pleistocénicas y holocénicas.

Referencias bibliográficas

ANDRADE, B. y CASTRO, C. Diagnóstico del estado actual de morfoconservación del litoral Tunquén-Santo Domingo. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1989, N° 16, p. 52-56.

ANDRADE, B. y CASTRO, C. La carta fisiográfica del litoral entre Tunquén y Santo

Domingo. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1990, N° 32, p.153-164.

ANDRADE, B.; LAGOS, M. y ARENAS, F. Cuantificación de procesos morfogénicos actuales como indicador de la fragilidad de unidades fisiográficas en la costa de la Región de O'Higgins. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2004, N° 31, p. 63-72.

ARAYA-VERGARA, J. F. Análisis de la Localización de los procesos y formas predominantes de la línea litoral de Chile. Observación Preliminar. *Revista Informaciones Geográficas*, 1982, N° 29, p. 35-55.

ARAYA-VERGARA, J. F. Influencias morfogénicas de los desalineamientos y líneas de costa contrapuestas en el litoral de Chile Central. *Revista Informaciones Geográficas*, 1983, N° 30, p. 3-23.

ARAYA-VERGARA, J. F. Trend analysis of shoreline changes and coastal management in Central Chile (33 - 34.5° S). In: UNION GEOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. *Actes Escursion-Symposium N° 9: La Côte Atlantique*. France: Commission sur l'Environnement Côtier, 1985, p. 99-110.

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

ARAYA-VERGARA, J. F. Génesis de la ensenada en zeta de Pichilemu, Chile Central. *Revista Investigaciones Geográficas*, 2003, N° 37, p. 41-65.

BARRIENTOS, S. E. y KAUSEL, E. Génesis y proceso de ruptura del terremoto del 3 de marzo de 1985, Chile Central. *Revista de Geofísica*, 1990, N° 46, p. 3-18.

BENEDET, L.; FINKL, C. W. & KLEIN, A. Morphodynamic classification of Beaches on the Atlantic Coast of Florida: Geographical Variability of Beach Types, Beach Safety and

Coastal Hazards. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 2004, N° 39, p. 360-365.

BENEDET, L; KLEIN, A. & HSU, J. Practical Insights and Applicability of Empirical Bay Shape Equations. International Conference on Coastal Engineering, ICCE, 2004, 2005, Lisbon, Portugal. Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering, ICCE, Singapore, 2004. *World Scientific*, 2005, Vol. 2, p. 2181-2193.

BIRD, E. *Coastal Morphology, An Introduction*. Chichester: Wiley & Sons, 2000.

CASTILLA, J. C. Earthquakes caused coast uplift and its effects on rockies intertidal help comiunites. *Science*, 1988, Vol. 242, p. 440-442.

CASTRO, C. El índice de vulnerabilidad de dunas litorales: un instrumento para la gestión. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 2004, N° 49, p. 89-113.

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.

CASTRO, C. y BRIGNARDELLO, L. Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos. Orientaciones para la protección, usos y aprovechamiento sustentable del sector de Los Choros, comuna de La Higuera, IV Región. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2005, N° 33, p. 33-58.

CASTRO, C.; CALDERÓN, M. y ZÚÑIGA, A. Indicadores geomorfológicos de la fragilidad de paleodunas. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2001, N° 28, p. 11-24.

ESPIÑEIRA, D. *Geología del complejo platónico Papudo-Quintero; Aspectos cronológicos y geoquímicos*. Memoria para optar al título de geólogo. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; Departamento de Geología y Geofísica, 1989.

GONZÁLEZ, N. *Características sismotectónicas de la brecha sísmica de Pichilemu-Constitución: Segmento sur no activado de*

la zona de ruptura del gran terremoto de 1906. Memoria de título. Santiago: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil. 1997.

HERVÉ, F.; ENCINAS A.; VILLA-MARTÍNEZ, R.; NIELSEN, S.; FINGER, K. & PETERSON, D. Registro sedimentológico de la transgresión marina del holoceno medio en el área de Algarrobo (33° 22' Sur). Chile Central. Implicancias tectónicas y paleoecológicas. *10º Congreso Geológico Chileno*, 2003.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM). El Terremoto del 3 de marzo de 1985 y los desplazamientos de la corteza terrestre. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 1984 - 1985, N° 28, p. 7-12.

KLEIN, A. & DE MENEZES, J. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, 2001, Vol. 17, N° 4, p. 812-835.

KLEIN, A.; FILHO, L. & SCHUMACHER, H. Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems. *Journal of Coastal Reseach*, 2002, Vol. 18, N° 3, p. 442-458.

LAUSMAN, R.; KLEIN, A. y STIVE, M. *Uncertainty in the Application of Parabolic Bay Shape Equation: A case study*, 2006. Disponible en Internet: <http://www.citg.tudelft.nl/live/binaries/4de0d195-5207-4e67-84bb-455c5403ae47/doc/2006LausmanB.pdf>.

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. 1.093-1.100.

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: Universidad de

Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2001.

MONJE, J. El Sismo del 3 de Marzo de 1985. En: MONJE, J. (Ed.). *El Sismo del 3 de Marzo de 1985*. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas., 1986, p. 1-264.

MUÑOZ, F. *Análisis de la dinámica costera en ensenadas de Chile central. Litoral de Cachagua y Papudo*. Memoria para optar al título de geógrafo. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2005.

SHORT, A. Waves - dominated beaches. In: SHORT, A. (Ed.). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1999, p. 173-191.

SHORT, A. *Current project, Rip Current dynamics*. Sydney: CSU Projects University of Sydney, 2005.

SOTO, M. V. Análisis de los cambios asociados al oleaje en una ensenada de la zona central de Chile. *Anales de la Socie-*

dad Chilena de Ciencias Geográficas, 2003, p. 135-144.

SOTO, M. V., ARAYA-VERGARA, J. F. y CASTRO, C. P. Variación de Condición de Ataque y de Zona de Rompiente en la Ensenada de Pichilemu, VI Región. En: *Resúmenes XXIV Congreso Ciencias del Mar. Sociedad Chilena de Ciencias del Mar*. Coquimbo: Universidad Católica del Norte, 2004.

SOTO, M. V. Relaciones morfodinámicas y estructurales en ensenadas desalineadas. Litoral de Pichilemu, Chile central. En: *XXV Congreso de Ciencias del Mar de Chile, XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar*. Viña del Mar: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2005a.

SOTO, M. V. Aspectos morfodinámicos de ensenadas desalineadas del litoral de Chile central: Pichilemu y caleta Los Piures. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2005b, Nº 33, p. 73-87.

YASSO, W. Plan geometry of headland-bay beaches. *Journal of Geology*, 1965, Nº 73, p. 702-714.