

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**DESCRIPCION DE LA EVOLUCIÓN MENSUAL DE LA PLAYA DE REÑACA Y EL
IMPACTO DE LAS MAREJADAS DE AGOSTO 2015**

ROBERTO AGREDANO M.¹
RODRIGO A. CIENFUEGOS C.²
PATRICIO CATALÁN³
EMMANUEL MIGNOT⁴

RESUMEN

Las costas arenosas del Chile Central han sido poco estudiadas en relación a la evolución morfológica que presentan frente a los cambios en el clima de oleaje. Para ahondar en este conocimiento se presenta en este trabajo la descripción de la evolución mensual de la playa de Reñaca (Viña de Mar) y el impacto de las marejadas ocurridas en Agosto de 2015. Las observaciones y mediciones muestran la importancia que tienen las condiciones de clima local en la modificación de los patrones de la playa, donde oleajes energéticos son capaces de erosionarla con una rapidez mucho mayor que los procesos de acreción asociados a oleajes menos intensos.

¹Estudiante de doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Depto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile - ragredano@uc.cl

²Profesor Asociado, Depto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile - racienfu@ing.puc.cl

³Profesor Auxiliar, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Federico Santa María - patricio.catalan@usm.cl

⁴Assistant Professor, LMFA INSA de Lyon (Francia) - emmanuel.mignot@insa-lyon.fr

1. INTRODUCCIÓN

La playa de Reñaca, situada en la costa central de Chile, es una playa micromareal, abierta y dominada por el oleaje. Además, presenta estructuras rítmicas, llamadas beach cusps, que consisten en una secuencia de promontorios (*horns*) y bahías (*embayments*) alternas generadas por acción del flujo y reflujo de las olas que rompen en la costa. El tamaño y espaciamiento de estas estructuras oscila entre 20 y 100 m para esta playa.

Por su ubicación (Viña del Mar) es considerada una de las playas más turísticas de la zona Central. Es por esto que genera gran interés en relación a sus cambios morfológicos debidos a la continua influencia de fenómenos climáticos como son las marejadas. En este contexto se está monitoreando la playa desde Abril de 2014, aunque los datos más regulares en el tiempo se están recopilando desde Enero de 2015.

Las costas arenosas son frecuentemente dominadas por el clima marítimo, principalmente por la altura de ola en rotura seguido por el período de ola (Lopes, 2011). Se recopilaron datos de reanálisis de clima marítimo de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), los cuales fueron calibrados con datos de ADCP medidos frente a la costa de la playa de Reñaca.

El presente trabajo persigue mostrar cómo se comporta la playa de Reñaca, cómo evoluciona tanto para oleajes poco energéticos, típicos de la temporada estival, como para eventos extremos de marejadas con o sin fuertes condiciones climáticas locales como se reportaron el pasado mes de Agosto de 2015.

2. METODOLOGÍA

Área de Estudio

La playa de Reñaca está situada en la Región de Valparaíso, en la costa central de Chile (Figura 1). Se trata de una playa de ~1200 m de longitud con orientación Oeste y expuesta a oleaje altamente energético del Océano Pacífico, con altura de ola significativa de 2.5 m y período característico de 14 s. Debido a su orientación, se puede asumir casi siempre oleaje incidente normal en toda la playa, a excepción del Sector V (sector más a la norte) donde la presencia de rocas emergidas producen efecto de difracción y la existencia de bajos arenosos entre las rocas y el frente de playa. El rango mareal es menor a 2 m por lo que se considera una playa micromareal. La pendiente de la playa es normalmente empinada con diámetro característico clasificado como arena mediana (Molina, 2014).



Figura 1. Localización de la playa de Reñaca dentro de la bahía de Valparaíso.

Recolección y Procesado de Datos

Se cuenta principalmente con dos fuentes de datos, el clima de oleaje consistente en datos de reanálisis, y las mediciones topográficas realizadas con instrumento GPS diferencial. A continuación se detalla cada uno por separado.

Datos de clima de oleaje

Los datos de clima marítimo se obtuvieron de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Consisten en datos de reanálisis en el Nodo 33 (latitud -33° , longitud -72°), frente a la costa de Reñaca en aguas profundas, relativos a la altura, período y dirección del oleaje cada 3 horas desde el 1 de Enero hasta el 30 de Julio de 2015.

Se realizó una calibración de los datos de reanálisis a partir de datos medidos frente a las costas de Reñaca (19 H 261645.65m E 6349661.29m S) con instrumento ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) instalado a 12 m de profundidad. Para ello se usó el método propuesto por Sampedro (2009) donde se buscaron dos coeficientes de calibración para la altura de ola. De esta manera la altura de ola proporcionada por la NOAA se corrigió mediante la expresión (1).

$$H_i = 0,6965 * H_{i-1}^{1,0615}, \quad (1)$$

donde H_i es la altura de ola calibrada y H_{i-1} corresponde a la altura de ola proporcionada por la NOAA.

Las propagaciones desde aguas profundas al punto de ubicación del ADCP se realizaron con el modelo de oleaje de tercera generación SWAN, desarrollado por la Delft University of Technology, obteniéndose el set de parámetros propagados en la costa de Reñaca (Figura 2).

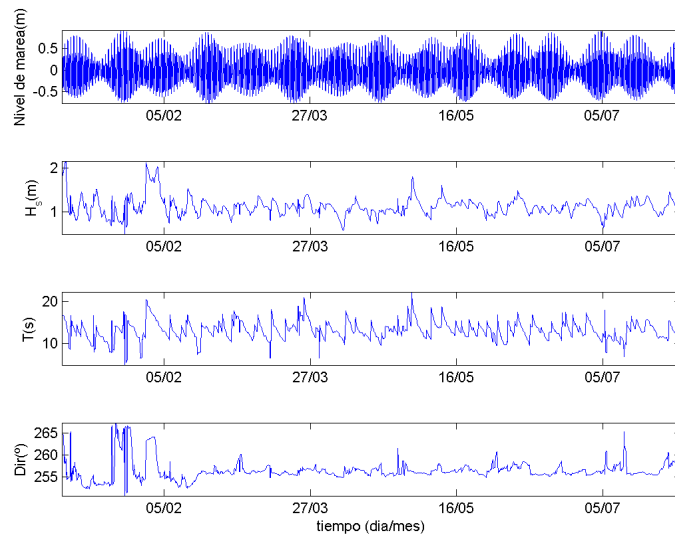


Figura 2. Clima de oleaje para la playa de Reñaca. De arriba hacia abajo, nivel de marea obtenido del mareógrafo de Valparaíso, Hs: altura de ola significativa, T: período peak del oleaje, Dir: dirección de aproximación del oleaje. Los datos de Hs, T y Dir resultan de la propagación de datos obtenidos de la NOAA y propagados hasta un punto frente a la playa de Reñaca de profundidad 12 m. (Formato de fecha mmdd).

También se obtuvo el registro del mareógrafo de Valparaíso con el objetivo de poder interpretar mejor los cambios morfológicos asociados a los ciclos de marea, sobretodo en el análisis de los datos de recuperación de la playa después de un evento de oleaje extremo o marejada.

Datos topográficos

Se usó instrumento GPS Diferencial para realizar las mediciones de la evolución y/o cambios en la morfología de la playa. Se realizó una medición por semana desde Enero hasta Mayo de 2015, y entre 1 y/o 2 mediciones diarias para los eventos extremos de marejadas que se reportan en este trabajo. Para los eventos de oleaje intenso se tomaron datos antes y después de cada marejada para tener el registro de evolución completo.

Las mediciones topográficas abarcan una distancia longitudinal de la playa de ~300 m con un ancho máximo (transversal) de ~70 m (Figura 3, centro). Se realizaron pasadas transversales y longitudinales espaciadas entre sí ~10 y 15 m respectivamente. La distancia entre puntos consecutivos fue de ~1.5 m.

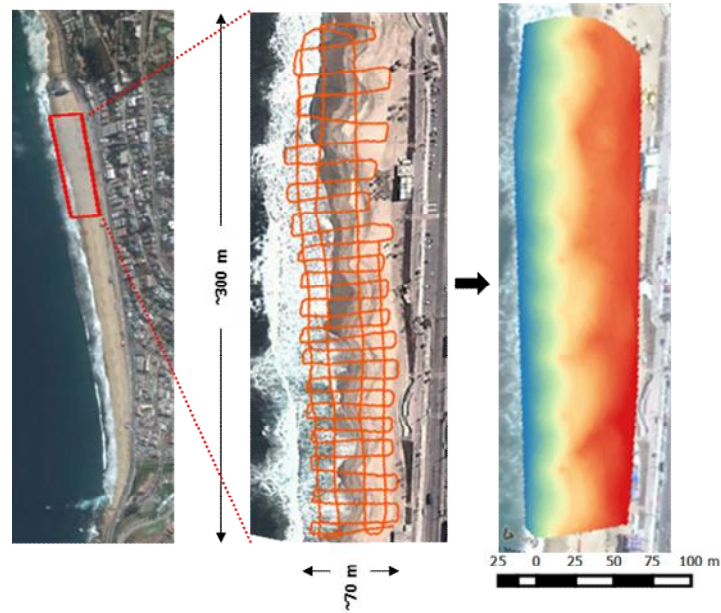


Figura 3. Esquema de medición topográfica (centro) sobre el sector norte de medición de la playa de Reñaca (izquierda) y superficie interpolada (derecha).

A partir de los datos topográficos de cada día se genera una superficie de interpolación (Figura 3, derecha). El tamaño de la malla es de 1.5 m que coincide con la distancia entre mediciones puntuales consecutivas. De esta manera se introducen los menos errores posibles en el proceso de interpolación.

El cálculo de volúmenes de erosión o sedimentación entre mediciones consecutivas se hizo de forma similar a lo realizado por Almar (2008), donde se calcula un volumen de referencia respecto de la primera medición topográfica. Las diferencias de volumen se obtienen por diferencia entre superficies topográficas.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Evolución Semanal

El análisis de la evolución semanal se realizó entre los meses de Enero y Mayo donde predominan los períodos de calmas u oleajes menos intensos, al contrario de lo que ocurre durante la época invernal donde se reportan las grandes marejadas.

Los datos de clima marítimo propagados desde aguas profundas a la costa de la playa de Reñaca no presentan grandes variaciones a simple vista (Figura 4), mientras que en las diferencias de volúmenes de arena acumulados o erosionados entre levantamientos topográficos consecutivos (Tabla 1) se aprecian cambios importantes en algunos períodos. Por esto, no se puede determinar que el clima marítimo de aguas profundas sea el único determinante en los cambios de la costa.

Por otro lado, los cambios morfológicos son bastante apreciables, siguiendo patrones de formas rítmicas similares a los encontrados desde el inicio de las observaciones. Los patrones de erosión/sedimentación normalmente siguen las estructuras rítmicas, pero se encontraron ocasiones donde estos patrones cambian, como ocurrió entre los días 29 de Abril y 5 de Mayo de 2015 (Figura 5) provocando un cambio en la estructura rítmica de la playa que no puede atribuirse solamente al clima marítimo de aguas profundas.

En este sentido, se muestra en la Figura 6 un período corto del registro del mareógrafo de Valparaíso donde se observan condiciones de clima intenso local (fuerte viento W) que pueden ser determinantes para explicar con más exactitud los cambios en la morfología de la playa. Fue en ese período donde se registró el mayor evento de erosión de la playa con una pérdida de 4927 m³ de arena (Tabla 1) (Figura 4).

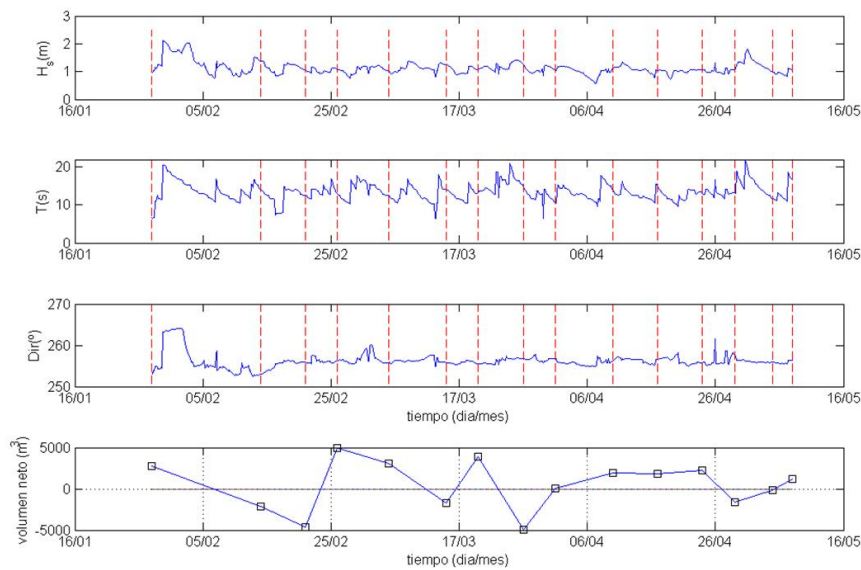


Figura 4. En orden descendente, registro de altura, período y dirección de ola con la posición de los días de medición (línea discontinua), y volúmenes netos de erosión (-)/sedimentación (+) entre un día de medición y el inmediato anterior. (Formato de fecha mmdd).

Tabla 1. Volúmenes netos de erosión de erosión/sedimentación entre mediciones semanales consecutivas entre Enero y Mayo de 2015. Valores positivos indican acreción y valores negativos erosión. (Formato de fecha yyyymmdd).

	Vol. Neto (m3)
20150120 al 20150128	2729
20150128 al 20150214	-2162
20150214 al 20150221	-4655
20150221 al 20150226	4914
20150226 al 20150306	3115
20150306 al 20150315	-1763
20150315 al 20150320	3904
20150320 al 20150327	-4927
20150327 al 20150401	96
20150401 al 20150410	1901
20150410 al 20150417	1830
20150417 al 20150424	2234
20150424 al 20150429	-1651
20150429 al 20150505	-118
20150505 al 20150508	1147

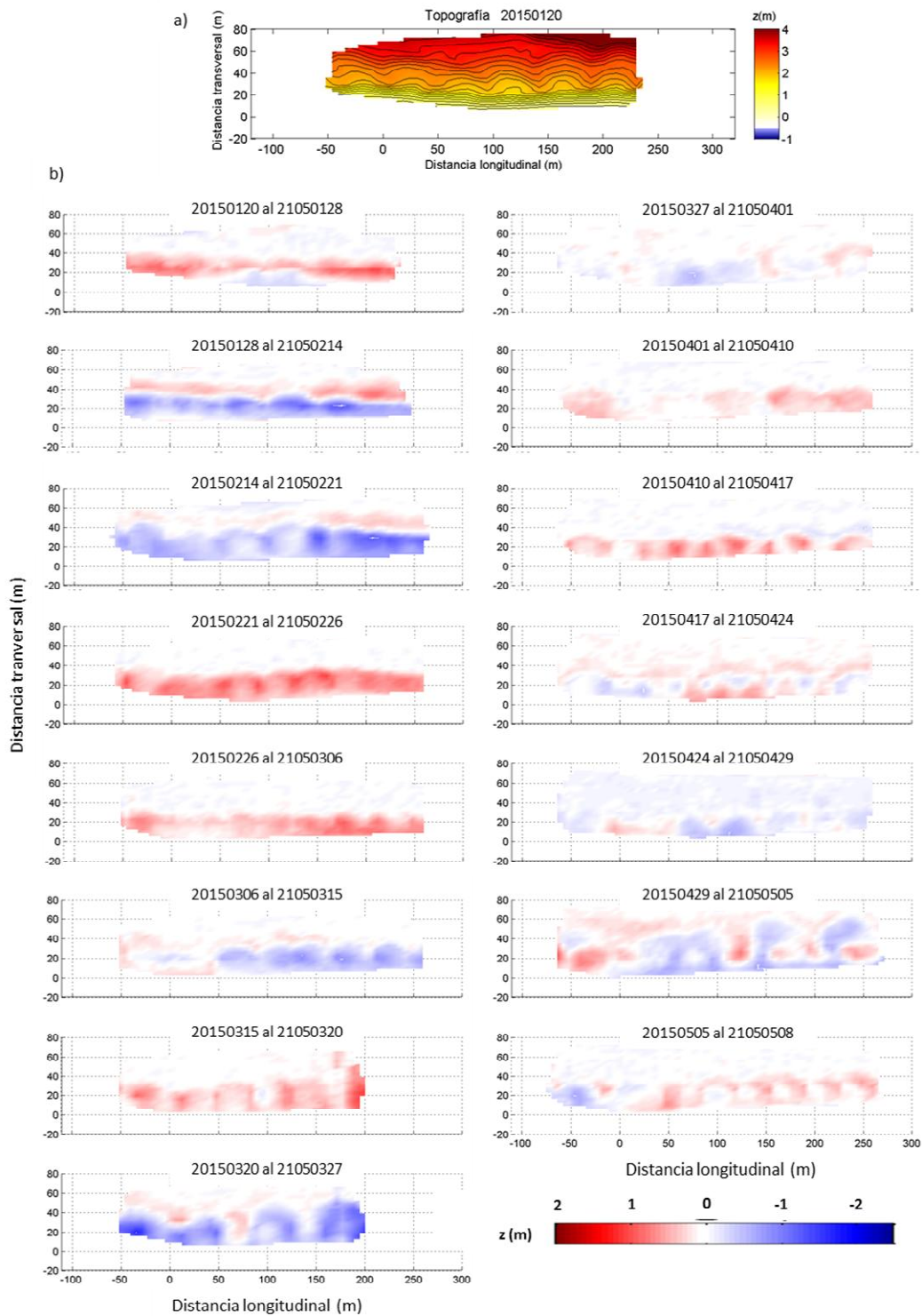


Figura 5. (a), superficie topográfica del primer día de medición que se toma como referencia para el cálculo de cambios de volumen de arena entre mediciones consecutivas, y (b), distribución de las zonas de erosión (azul)/sedimentación (rojo) entre dos mediciones semanales consecutivas. (Formato de fecha yyyymmdd).

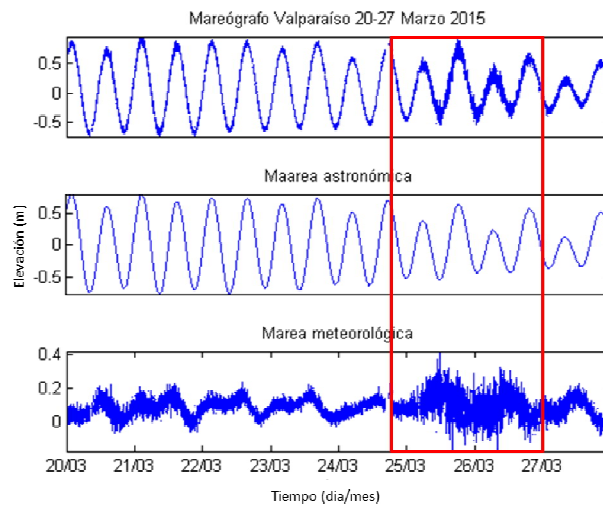


Figura 6. Registro del mareógrafo de Valparaíso. En orden descendente, registro completo del mareógrafo, marea astronómica extraída del registro completo y marea meteorológica o condiciones climáticas locales. (Formato de fecha mddd).

Eventos de Oleaje Intenso (marejadas)

Los eventos de fuerte oleaje capturados en la playa de Reñaca entre el 31 de Julio y el 21 de Agosto fueron 4, (1) entre el 2 y el 3 de Agosto, (2) el 6 de Agosto, (3) entre el 8 y el 9 de Agosto y (4) entre el 17 y el 18 de Agosto. Para cada uno de ellos se reportaron alturas de ola significativa máxima ($H_s(\text{máx})$) de 4.8 m, 4.1 m, 6.4 m y 3.1 m respectivamente. El tercer evento se reportó de mayor intensidad por concurrir a la vez grandes oleajes provenientes de aguas profundas con condiciones climatológicas locales de fuertes vientos que intensificaron la energía del evento.

Para estos casos, se observa que para los oleajes más intensos entre el 8 y el 9 de Agosto se produjo la mayor erosión de la playa con un volumen neto de erosión de 13902 m^3 (Tabla 2). Este evento cambió por completo la morfología erosionando hasta 30 m el frente de playa y dejando una berma o corte vertical de erosión de más de 1.5 m en la zona norte (Figura 8, 20150807 al 20150810). También desaparecieron por completo las formas rítmicas características de la playa, las cuales empezaron a formarse de nuevo desde el Sur al Norte una vez pasado el período de marejadas. Esta dirección clara en la formación de los cups podría explicarse por una corriente longitudinal que transportara sedimento desde el Sur al Norte, aunque no se puede asegurar todavía este fenómeno. Los dos eventos anteriores, con $H_s(\text{máx})$ a 4 m también reportaron eventos de erosión, esta vez de menor intensidad, moviendo volúmenes aproximados de 3000 m^3 . En cambio, el último evento registrado, el de menor intensidad, ayudó a la recuperación de la arena perdida en eventos anteriores en el mismo orden en que se recuperaba para oleajes de menor intensidad (alturas de ola inferiores a 2 m entre la marejada 3 y la 4).

Después del evento de mayor intensidad se produjo una recuperación parcial entre el 11 y el 14 de Agosto (Figura 7) (Tabla 2) de 2121 m^3 . Esta recuperación fue muy rápida ajustándose a una velocidad de sedimentación menor a partir de esa fecha.

Al final del período de marejadas se realizaron mediciones consecutivas en cada marea baja desde el 17 de Agosto hasta el 21 de Agosto de 2015 coincidiendo H_s (máx) a 3 m y decreciendo en ese intervalo hasta ~ 1.4 m. Se registró un proceso de acreción paulatino donde los volúmenes de sedimentación eran del orden del doble entre las dos mareas bajas de cada día.

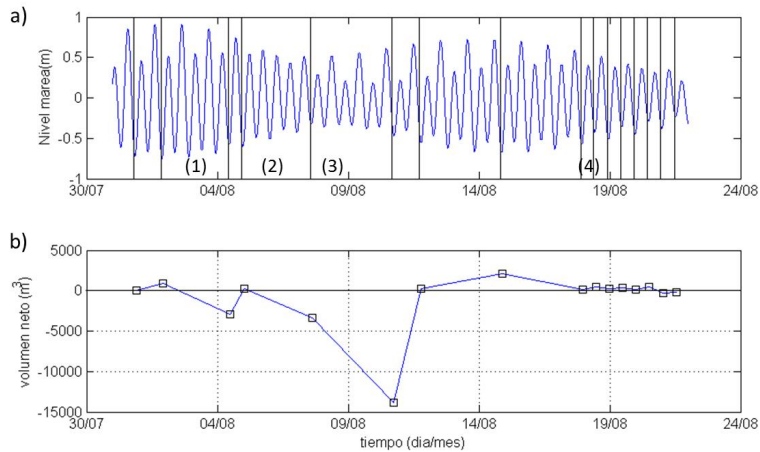


Figura 7. (a), registro de marea astronómica. Los números del 1 al 4 indican las marejadas ocurridas y las líneas verticales el momento de cada medición topográfica. (b), volúmenes netos de erosión (-) /sedimentación (+) entre una medición y la inmediata anterior (abajo).

Tabla 2. Volúmenes netos de erosión de erosión/sedimentación entre mediciones consecutivas para el período que abarca los eventos ocurridos en Agosto de 2015. Valores positivos indican acreción y valores negativos erosión. (Formato de fecha yyyyymmdd).

Intervalo entre mediciones consecutivas en bajamar	Nº de pleamares entre mediciones	Vol. Neto (m3)
20150731 al 20150801	1	930
20150801 al 20150804 (mañana)	5	-2925
20150804 (mañana) al 20150804 (tarde)	1	238
20150804 (tarde) al 20150807	4	-3311
20150807 al 20150810	6	-13902
20150810 al 20150811	2	289
20150811 al 20150814	6	2121
20150814 al 20150817	6	96
20150817 al 20150818 (mañana)	1	502
20150818 (mañana) al 20150818 (tarde)	1	279
20150818 (tarde) al 20150819 (mañana)	1	365
20150819 (mañana) al 20150819 (tarde)	1	147
20150819 (tarde) al 20150820 (mañana)	1	434
20150820 (mañana) al 20150820 (tarde)	1	-308
20150820 (tarde) al 20150821	1	-169

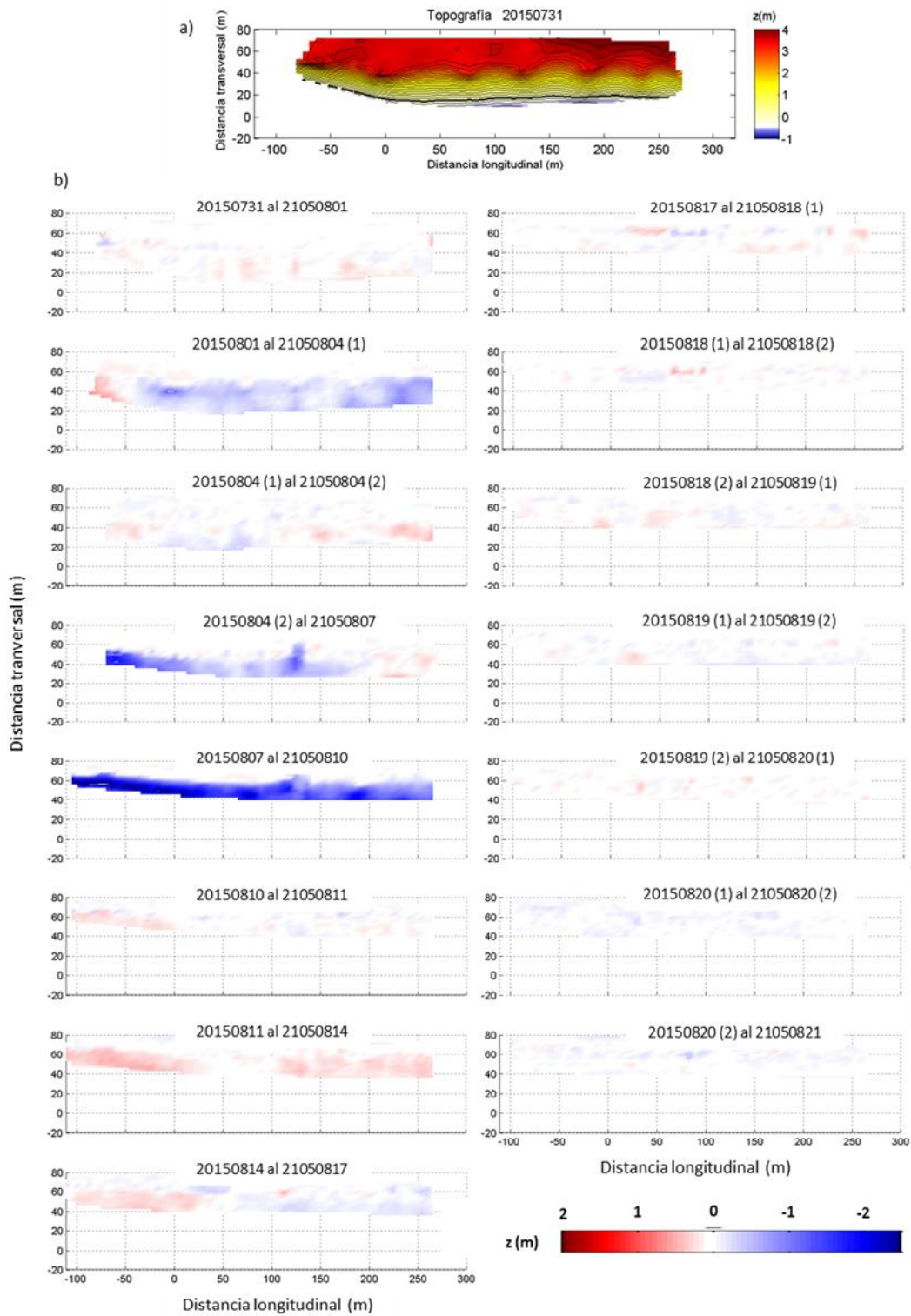


Figure 8. (a), superficie topográfica del primer día de medición, antes de las marejadas, y (b), distribución de las zonas de erosión (azul)/sedimentación (rojo) entre mediciones consecutivas. (Formato de fecha yyyyymmdd).

Para visualizar de forma más clara la erosión provocada por la marejada del 8-9 de Agosto, se muestra la evolución de dos perfiles transversales de altura de playa (Figura 9). El perfil P1 corresponde a una posición normalmente ocupada por un saliente o *horn*, mientras que el perfil P2 se encuentra en la posición usual del centro de una bahía o *embayment*. Se observa una erosión bastante clara en P1 hasta el 7 de Agosto y no tan acusada en P2. Donde sí se aprecia una erosión fuerte en las dos zonas es después del gran evento donde la medición del 10 de Agosto muestra un retranqueo de la línea de costa de más de 30 metros en P1 y de ~20 m en P2, haciendo casi coincidir la forma de los perfiles en ambas zonas. La recuperación posterior, al igual que la erosión, es más rápida en P1 que en P2, pero mucho más lenta que el fenómeno de erosión. Si bien la posición del saliente o bahía no es relevante en el evento de erosión (Figura 8,b, 20150807 al 20150810), sí lo es en la posterior recuperación del frente de playa. Mientras que la recuperación del perfil de playa en P1 comienza por la parte baja, en P2 comienza por la parte alta más cercana al límite superior de la erosión.

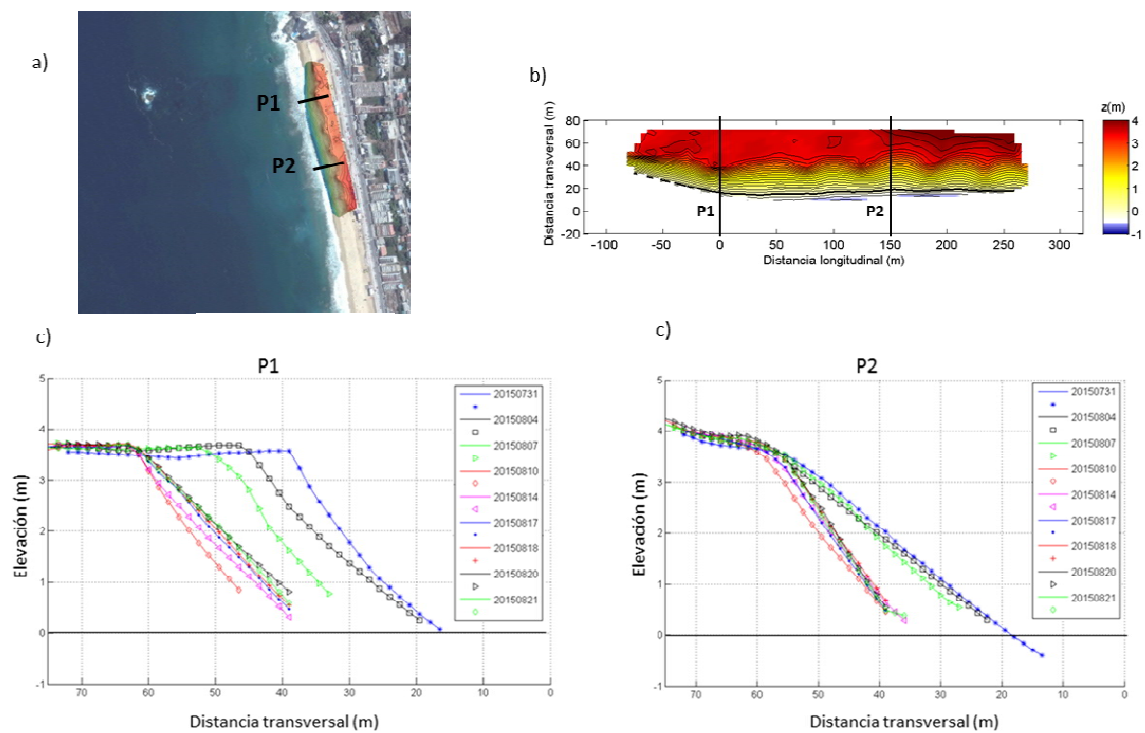


Figura 9. Cambios en el perfil de playa durante el período de marejadas. (a), localización de los perfiles sobre imagen satelital (fuente: Google Earth), (b), zoom en la posición de los perfiles y (c), evolución de perfiles transversales entre los días 31 de Julio y 21 de Agosto de 2015

4. DISCUSIÓN

Los datos de oleaje en aguas profundas para el período entre Enero y Mayo de 2015 no explican en todos los casos los cambios, tanto en forma en planta como en cambios de volumen de arena, que sufre la playa de Reñaca. Queda de manifiesto la importancia de las condiciones locales de clima marítimo, como se aprecia entre las mediciones del 20 y el 27 de Marzo de 2015. Se

produjo una gran erosión de la playa sin cambios apreciables en el clima marítimo procedente de aguas profundas. El registro de perturbaciones en el mareógrafo de Valparaíso manifiesta la presencia de tormenta local pudo liderar el cambio en la morfología de la playa.

En cuanto al registro de eventos extremos, se observó que los oleajes más grandes son los que provocan mayores cambios en la morfología del frente de playa, principalmente procesos erosivos intensos. Marejadas menos energéticas pueden funcionar en ambos sentidos, tanto erosionando como regenerando la playa, y esto depende de la condición previa en la que se encuentre. Se seguirá con el monitoreo de la recuperación de la playa para comprobar que tan resiliente es y cuáles son las condiciones climáticas y morfodinámicas que se prevé dirijan esta recuperación.

Sería considerable, para futuros registros de eventos extremos, mediciones de clima de oleaje local para validar los resultados que nos pueden entregar los modelos numéricos para esta playa e identificar de forma más rigurosa la influencia sobre los cambios en la morfología de la costa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento del Comité Nacional de Investigación Científica y Técnica (CONICYT) a través del Proyecto Fondecyt N° 1120878. Roberto Agredano ha sido apoyado por el Centro de Investigación y Gestión de Desastres Naturales (CIGIDEN), Proyecto Conicyt/Fondap 15110017, y por la Beca de doctorado Nacional de CONICYT.

REFERENCIAS

Almar, R., Coco, G., Bryan, K. R., Huntley, D. A., Short, A. D., & Senechal, N., 2008. Video observations of beach cusp morphodynamics. *Marine geology*, 254(3), 216-223.

Lopes, V., Pais-Barbosa, J., Taveira-Pinto, F. and Veloso-Gomes, F., 2011. Beach cusps: Using multivariate data analysis techniques for the identification of important variables and for predicting their spacing. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), 1106 – 1110. Szczecin, Poland, ISSN 0749-0208.

Molina, M. 2014. Informe académico. Caracterización de la Playa Reñaca mediante perfiles y muestreos de sedimentos. Ingeniería Civil Oceánica. Universidad de Valparaíso.

Sampedro, A. 2009. Tesis Doctoral: Metodologías de calibración de bases de datos de reanálisis de clima marítimo. Capítulo 6, Calibración puntual con datos en profundidades reducidas. Departamento de Ciencias y Técnicas del agua y del medio ambiente. Universidad de Cantabria.

Roberto Agredano Martín

Candidato a Doctor. Programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Área Ingeniería Civil.

Email: ragredano@uc.cl

Tlf.: +59 9 87822484