



Figura 0 Campaña de terreno. Playa de Lebu 2010. Foto: Alejandro Sotomayor



Secuencia: Eduardo Jaramillo trabajando junto a su equipo en la playa Las Peñas, Arauco 12 de Marzo de 2010.
Fotos: Felipe Drevés Keim

1

2

3

4

5

DEFENSAS COSTERAS EN PLAYAS ARENOSAS DE LA REGION DEL BIOBIO Y MAULE:

¿QUE PODEMOS APRENDER DE SU INTERACCIÓN CON EL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010? ¹

COASTAL DEFENSES ON SANDY BEACHES IN THE BIOBIO AND MAULE REGIONS:
WHAT CAN WE LEARN FROM THEIR EFFECT IN THE EARTHQUAKE OF 27TH FEBRUARY, 2010? ¹

EDUARDO JARAMILLO LOPETEGUI²

RESUMEN

El impacto humano sobre los ecosistemas de playas arenosas, incluye la construcción de defensas artificiales como una respuesta a la erosión costera y retroceso de la línea de costa. Resultados de estudios de terreno realizados durante Enero de 2010 en playas arenosas de la Región del BíoBío y Maule (centro sur de Chile), muestran que las abundancias poblacionales de la macrofauna intermareal son más bajas en aquellos sitios ubicados frente a murallas que interactúan directamente con el oleaje durante marea alta, que en sitios ubicados frente a murallas que no muestran tal interacción, o en áreas de la playa carentes de este tipo de defensas. Estudios realizados a partir de Marzo de 2010, muestran que el ancho de la zona intermareal de las playas arenosas ubicadas en la Península de Arauco y alrededores, aumentó debido al levantamiento continental (ca. 2-2,5 m) producto del terremoto del 27 de Febrero de 2010. Esto originó interacciones no esperadas con las defensas costeras, incluyendo i) creación de nuevo hábitat en el intermareal superior de la cara oceánica de las murallas, seguido de recolonización rápida de la fauna móvil de los niveles superiores y medios del intermareal y que previamente estaba ausente, y ii) pérdida de especies de los niveles inferiores debido al levantamiento del sustrato rocoso previamente sumergido. Se sugiere que resultados como estos, sean considerados en la planificación de la reconstrucción del borde costero devastado por el terremoto y tsunami del 27 de Febrero de 2010.

Palabras clave: playas arenosas, defensas costeras, costa del BíoBío y Maule, terremotos

ABSTRACT

Human impacts on sandy beach ecosystems include the construction of coastal defences in response to coastal erosion and retreating coastlines. Field studies carried out in January 2010 along sandy coastal beaches of the BíoBío and Maule regions (south central Chile), indicated lower populations of intertidal macrofauna at sites located in front of sea walls with direct wave interaction during high tide, compared with those found at sites with sea wall defences but without any wave interaction, or at sites without any intervention. Studies carried out since March 2010 show that the width of the intertidal zone of sandy beaches on the Arauco peninsula (ca. 36°S) and nearby areas increased due to continental uplift (ca. 2-2.5m) as a result of the earthquake of February 27th, 2010. This resulted in unexpected interactions with sea defences including i) the creation of new upper intertidal habitat seaward of seawalls, followed by rapid recolonisation of hitherto absent mobile upper and mid shore fauna, and ii) the loss of lower shore species due to uplift of the previously submerged rocky substrate. It is suggested that outcomes such as these should be taken into consideration during planning of the reconstruction of the coastal zone devastated by the earthquake and tsunami of February 27th 2010.

Keywords: sandy beaches, coastal defences, coast of BíoBío and Maule, earthquakes

[1] Este artículo está basado en resultados del Proyecto FONDECYT 1090650 "CASCADING EFFECTS OF COASTAL DEVELOPMENT ON SANDY BEACH ECOSYSTEMS: EVALUATING GENERALITY WITH CROSS HEMISPHERIC COMPARISONS" (2009-2011), financiado por CONICYT, Chile. Investigador Principal: Eduardo Jaramillo, Colaboradores: Marcia González, Mario Manzano, Cesar Campos y Cristian Duarte. Aportes adicionales para este

estudio fueron entregados por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile, durante Abril de 2010. Artículo recibido el 2 de Noviembre de 2010 y aceptado el 31 de Enero de 2011

[2] Docente Instituto de Ciencias de la Tierra y Evolución, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. ejaramillo@uach.cl



Figura 1 Campaña de terreno. Playa de Lebu 2010. Foto: Alejandro Sotomayor.



INTRODUCCION

Las zonas costeras alrededor del mundo están representadas primariamente por playas arenosas, las cuales representan cerca del 75% de la costa mundial libre de hielos (Brown 2001). Debido a que la mayoría de esas playas son afectadas estacionalmente o puntualmente por eventos erosivos, el continuo incremento del nivel del mar como resultado del cambio climático global, ejercerá en el futuro cercano presiones aún mayores sobre estos hábitat costeros, lo que resultará en deterioramiento del hábitat y retroceso de la línea de costa (Nordstrom 2000; Slott et al. 2006). Esto no es trivial, debido al valor ambiental de las playas de arena, incluyendo capacidad de "buffer" contra el aumento del nivel del mar, filtración de agua y circulación de materia orgánica y provisión de hábitat para diferentes especies de invertebrados y aves nidificantes, entre otros (Schlacher et al. 2008). Más aún y debido al constante movimiento del sustrato, las playas arenosas son considerados como los ecosistemas costeros más dinámicos del mundo. Por lo tanto, cualquier actividad alóctona, tal como impactos antropogénicos directos sobre las mismas, crea una presión adicional sobre la dinámica natural de este importante hábitat costero.

El impacto humano sobre las playas arenosas incluye entre otros, la construcción de defensas costeras como una respuesta a la erosión y retroceso de la línea de costa, una respuesta societaria que ha ocurrido por siglos (Nordstrom 2000; Charlier et al. 2005). La erosión de arena en áreas cercanas o en la base de defensas costeras como murallas y revestimientos rocosos, es el principal efecto de estas estructuras, lo que resulta en el hundimiento de la playa en la base de las mismas (e.g. Krauss & McDougal 1996; Griggs 2005 a,b). La presencia de tales defensas produce también un aumento en la frecuencia con que las olas interactúan con la línea de costa. Por lo tanto, el aumento de la reflexión del oleaje (y no disipación de la energía de las olas como ocurre en playas carentes de tales estructuras) y la disminución del ancho de la zona de rompiente de las olas durante períodos de tormenta, resulta en una reducción de la zona intermareal, un hábitat ocupado por una fauna de invertebrados abundante y diversa (ver por ejemplo McLachlan & Jaramillo 1995 y Jaramillo 2001). Más aún y debido a que la instalación creciente de defensas costeras probablemente continuará en un mundo afectado por el aumento del nivel del mar, es razonable asumir que los impactos de estas estructuras artificiales provocarán efectos acumulativos. Por ejemplo, el uso de defensas costeras aumentó alrededor de un 400% entre 1971 y 1992 en California (Griggs 1998). Asumiendo un aumento promedio del nivel del mar de 15 a 95 cm para el año 2100 o bajo 30 cm para el 2025 (IPCC 2001 a,b,c), Brown & McLachlan (2002) han predicho que el patrón mundial de erosión de las playas arenosas aumentará de modo inevitable, con una posibilidad bastante probable que

las playas más angostas desaparecerán completamente, mientras que las más anchas pero sin sistemas de dunas en su parte continental, verán restringidos sus anchos intermareales, especialmente si se instalan en ellas defensas artificiales para proteger o favorecer el desarrollo costero urbano. Considerando que cerca del 70% de las playas arenosas del mundo están en proceso de erosión, que 20-30% son estables y que un 10% o menos están en proceso de acreción (Bird 2000), la erosión de las playas arenosas, aumentada por parte del desarrollo urbano costero y la recesión continental debido al cambio climático global, es un elemento clave para la integridad de estos ecosistemas costeros en el futuro cercano (cf. Slott et al. 2006).

Aún cuando el desarrollo de los asentamientos humanos y las defensas costeras ha ocurrido por siglos (Nordstrom 2000; Charlier et al. 2005), las consecuencias ambientales de las mismas sobre los ecosistemas de playas arenosas son escasamente conocidas alrededor del mundo. Las playas de arena son el hábitat de invertebrados marinos que viven bajo el nivel de la marea alta (pequeños crustáceos, gusanos marinos y moluscos, entre los más comunes) y de otros que viven sobre ese nivel (principalmente insectos) (Brown & McLachlan 1990). La mayoría de estos organismos son formas únicas que no ocurren en otro hábitat costero. Como mencionado anteriormente, la alteración humana de la costa está entre los factores más importantes de la erosión de las playas arenosas (de Ruyck et al. 1997), lo que afecta no solo las abundancias de los organismos que habitan en la mismas, sino también su estabilidad ambiental y calidad escénica (Edney & Jordan-Edney 1974; De Ruyck et al. 1997). Lo último no es trivial, ya que las demandas por recreación en ambientes naturales y el desarrollo económico, son fuentes potenciales de conflictos sociales y perturbaciones ambientales en este hábitat costero. Como se ha argumentado más arriba, cualquiera perturbación humana que pueda afectar la dinámica natural de las playas arenosas (tales como cambios en erosión de la arena), puede resultar en efectos que se transmitan a las características físicas de este hábitat litoral y a los invertebrados que ahí habitan, lo que en ecología se denomina efectos en cascada.

Lo argumentado anteriormente constituye el marco ambiental sobre el cual se sustenta el Proyecto FONDECYT "Efectos en cascada del desarrollo costero sobre los ecosistemas de playas arenosas: evaluando generalidades a través de comparaciones inter hemisféricas", iniciado durante el año 2009 y que busca analizar eventuales efectos de defensas costeras artificiales sobre la estructura física y biológica de las playas arenosas. En este estudio se presentan los resultados de campañas de terreno realizadas durante Enero de 2010 en playas arenosas de la Región del Bío Bío y Maule (Figura 0 y 1), donde las murallas de concreto son una característica común del paisaje litoral. Se evalúa también la interacción de la presencia de esas murallas con los efectos del

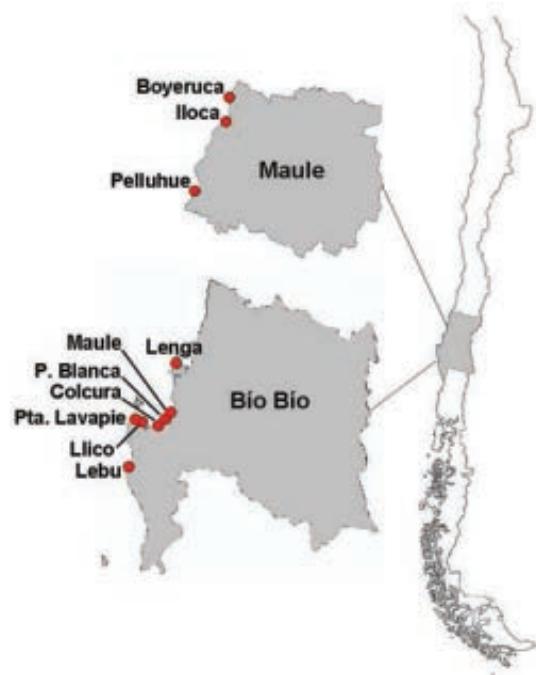


Figura 2 Localización de los sitios de muestreo en la costa de las Regiones del Bío Bío (Lenga, Maule, Playa Blanca, Colcura, Punta Lavapie, Llico y Lebu) y del Maule (Boyeruca, Iloca y Pelluhue).

terremoto del 27 de Febrero del año 2010, entregándose comentarios acerca de las eventuales consecuencias que pueden derivarse de la instalación de murallas en la costa afectada por este terremoto o en otra área de la costa Chilena. Esto último no es trivial, ya que Chile se ubica en el límite convergente que ocurre entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica. Esta es, una de las áreas sísmicas más activas del mundo (Fariás et al. 2010), ya que a lo largo del margen Chileno, la convergencia de ambas placas es de 66-68 mm/yr (Barrientos 1988, Plafker & Savage 1970), lo que cada 100-150 años resulta en grandes terremotos magnitud momento >8 Mw (Lomnitz 2004) y que producen deformación vertical significativa en áreas costeras y continentales (Plafker & Savage 1970, Fariás et al. 2010).

METODOLOGIAS

Durante Enero de 2010, se muestreó en diez playas arenosas de la costa de las Regiones del Bío Bío y Maule (Figura 2). Los sitios de muestreo se ubicaron en playas que tuvieran murallas, ya sea interactuando o no con el oleaje durante marea alta y en período de buen tiempo. Siete de las playas estudiadas tenían murallas que interactuaban directamente con el oleaje durante ese período mareal (Boyeruca, Pelluhue, Maule, Playa Blanca, Colcura, Llico y Punta Lavapie), a la vez que cuatro de ellas tenían murallas que no interactuaban con el oleaje durante marea alta (Iloca, Lenga, Playa Blanca y Lebu) (Figura 3 y 4).

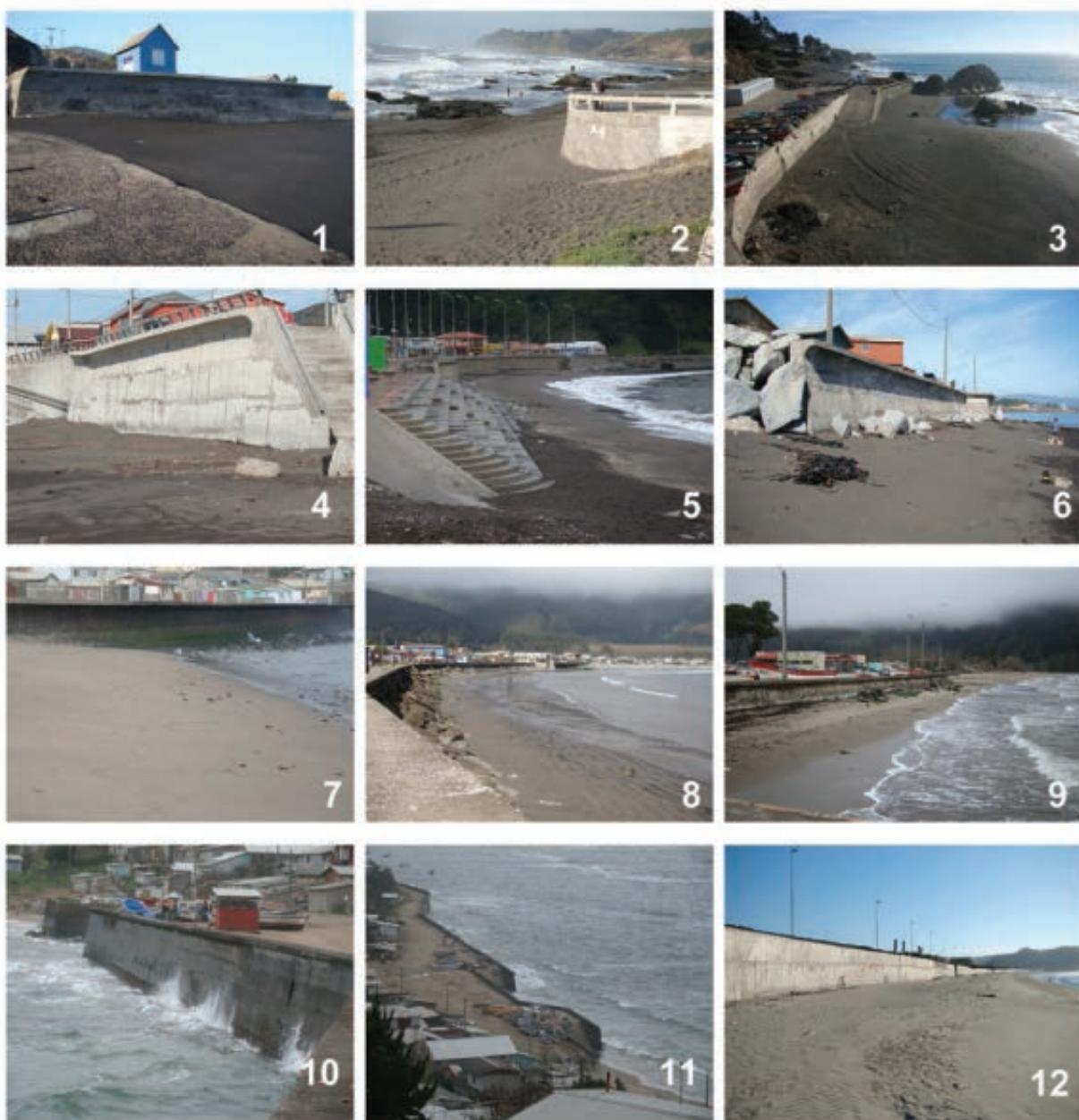


Figura 3 Murallas artificiales en la costa del Maule y Biobío. Boyeruca (1), Iloca (2) y Pelluhue (3) en la Región del Maule, Lenga (4,5), Maule (6), Playa Blanca (7), Colcura (8), Llico (9), Punta Lavapie (10, 11) y Lebu (9) en la Región del Biobío. Fotos: Eduardo Jaramillo (1 a 12 con excepción de 3), Alejandro Sotomayor (3).



BOYERUCA



ILOCA



PELLUHUE



LENGUA



MAULE



PLAYA BLANCA



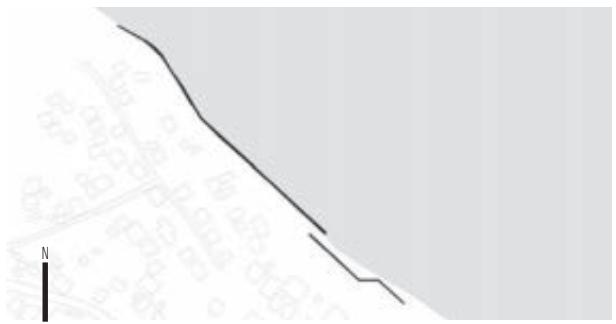
COLCURA



LLICO



PUNTA LAVAPIE



LEBU



Figura 4 Vistas aéreas (fuente: Google Earth) de las playas arenosas visitadas, con esquemas en planta de las murallas estudiadas. Elaboración [AS] Arquitecturas del Sur.

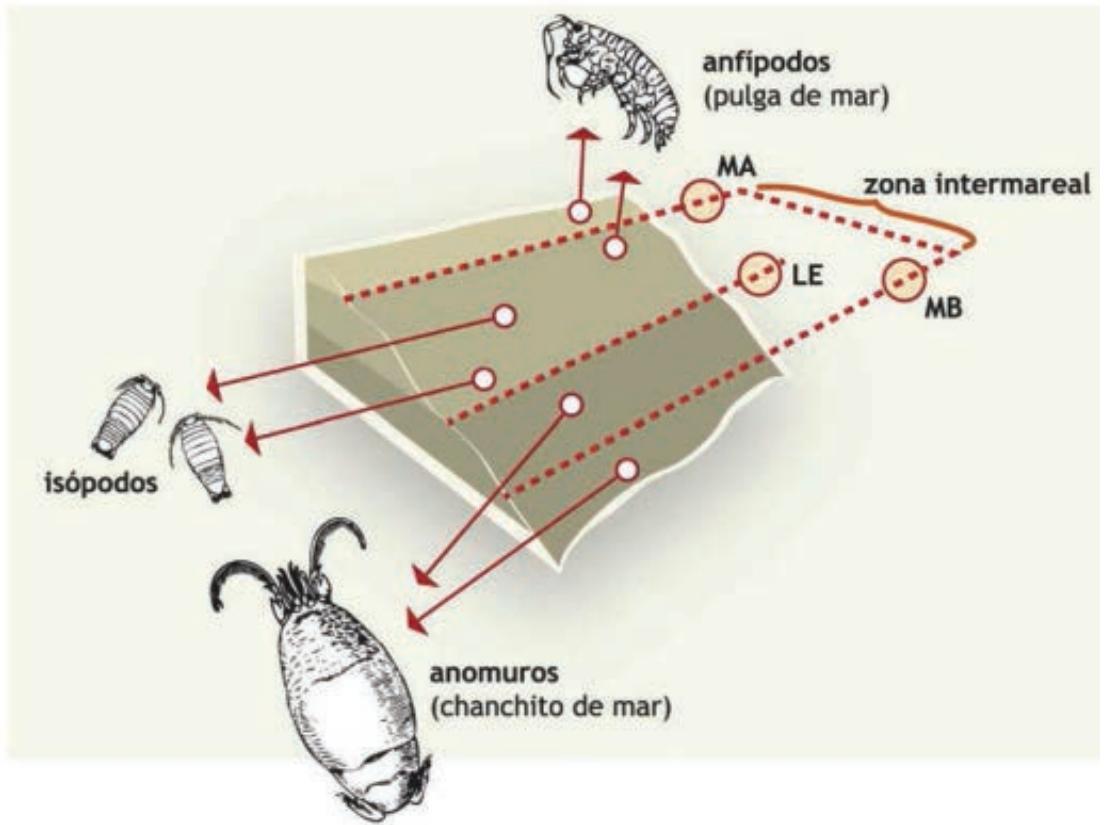


Figura 5 Esquema de distribución o zonación de la macrofauna de crustáceos que ocurre en la zona intermareal de playas arenosas del centro sur de Chile. Se indica el nivel de marea alta (MA), el de la línea de efluente (LE) o límite superior del espejo de agua y el nivel de marea baja (MB). Los crustáceos son el anfípodo *Orchestoidea tuberculata* ("pulga de mar") que ocurre alrededor de MA o parte superior de la zona intermareal, los isópodos *Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda* entre MA y LE o parte media del intermareal y el anomuro *Emerita analoga* ("chanchito de mar") entre LE y niveles inmediatamente inferiores a MB o parte inferior del intermareal.

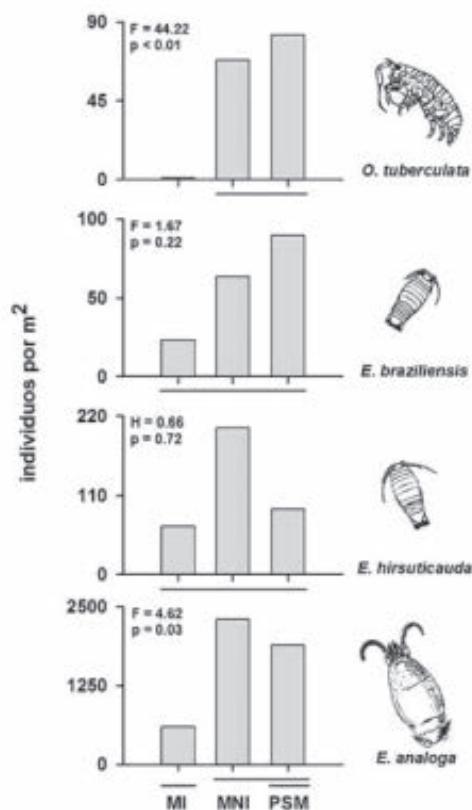


Figura 7 Valores promedio de las abundancias poblacionales de las especies más comunes (crustáceos) de la macrofauna, en sitios de la playa frente a murallas que interactúan y no interactúan con el oleaje durante marea alta (MI y MNI, respectivamente) y en sitios de la playa sin murallas (PSM). Las especies son el anfípodo *Orchestoidea tuberculata* ("pulga de mar"), los isópodos *Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda* y el anomuro *Emerita analoga* ("chanchito de mar"). Líneas horizontales unen promedios que no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$) (resultados de análisis de varianza de una vía y test a posteriori Tukey).

En nueve de las diez playas muestreadas existen áreas carentes de murallas (la playa de Punta Lavapie tiene muralla en toda su extensión). Lo anterior indica que en Playa Blanca se muestrearon las tres condiciones (muralla interactuando, muralla no interactuando y sitio carente de muralla), a la vez que en Punta Lavapie se muestreo solo la condición de muralla interactuando. En cada sitio de muestreo se marcaron cuatro transectos separados por 5 m y extendidos entre el nivel superior de la playa o nivel de la última marea alta y el nivel de la marea baja, tanto en áreas ubicadas frente a murallas como en áreas carentes de las mismas. En cada transecto se muestreó en las tres zonas faunísticas que ocurren a lo ancho del intermareal de las playas arenosas de Chile y que están caracterizadas por la presencia mayoritaria de crustáceos, invertebrados marinos cuyo cuerpo está protegido por una caparazón (Jaramillo 2001, McLachlan & Jaramillo 1995).

Estas son:

i) zona superior; ocupada primariamente por anfípodos o "pulgas de mar" (*Orchestoidea tuberculata*) y generalmente extendida entre las dunas o cortes naturales posteriores de la playa y el nivel de la marea alta, ii) zona media; ocupada por isópodos (*Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda*) y extendida entre el nivel de marea alta y la línea de efluente o límite superior del espejo de agua, y iii) zona inferior; ocupada primariamente por anomuros o "chanchitos de mar" (*Emerita analoga*) y extendida entre la línea de efluente y el nivel más bajo de la marea baja (Figura 5).

Se recolectaron cinco muestras a intervalos regulares en cada una de las zonas faunísticas mencionadas anteriormente. Para ello se utilizó un cilindro metálico de 10 cm de diámetro enterrado a una profundidad de 30 cm en el sustrato. Las cinco muestras recolectadas en cada zona se juntaron para ser filtradas a través de un colador con malla de 1000 micrones. Los organismos retenidos en la malla se conservaron en agua de mar - formalina (10%) hasta posterior análisis en el laboratorio. Los procedimientos de muestreo y recolección de organismos arriba mencionados se repitieron en la playa de Punta Lavapie y Lebu durante los meses de Marzo, Julio y Septiembre del año 2010.

RESULTADOS

Los resultados de los estudios llevados a cabo durante Enero de 2010, muestran que las abundancias poblacionales de los crustáceos *Orchestoidea tuberculata*, *Excirolana braziliensis* y *Emerita analoga*, fueron más bajas en aquellos sitios ubicados frente a murallas que interactúan directamente con el oleaje durante marea alta, que en sitios ubicados frente a murallas que no muestran tal interacción



Figura 8 Levantamiento continental frente a la playa de arena de Punta Lavapie. El sustrato rocoso que ahora ocurre expuesto al aire durante marea baja, estaba siempre sumergido antes del terremoto del 27 de Febrero del año 2010. El levantamiento de ese sustrato, ha eliminado del nivel inferior de la playa de arena la zona de rompiente de las olas, el hábitat típico del “chanchito de mar” *Emerita analoga* (ver texto). Foto: Eduardo Jaramillo.

o en áreas de la playa carentes de estas defensas costeras (Figura 7). Esta situación fue especialmente evidente en el anfípodo *Orchestoidea tuberculata*; su abundancia promedio en los sitios ubicados frente a murallas que interactúan directamente con el oleaje durante marea alta fue significativamente más baja (0,9 ind m²) que en sitios frente a murallas que no interactúan y en sitios carentes de murallas (68,4 y 82,8 ind m² respectivamente) (Figura 7). Similarmente, la abundancia promedio de *Emerita analoga* en los sitios ubicados frente a murallas que interactúan fue significativamente más baja (600,2 ind m²) que en sitios frente a murallas que no interactúan directamente con el oleaje (2301,4 ind m²). Por el contrario, las abundancias promedio de *Excirolana hirsuticauda* en los sitios ubicados frente a murallas que interactúan directamente con el oleaje y en sitios de las playas sin murallas, fueron similares (67,3 y 91,3 ind m², respectivamente) e inferiores (aún cuando no significativamente diferentes) al valor promedio estimado para los sitios ubicados frente a murallas que no interactúan (204,2 ind m²) (Figura 7).

Comparaciones realizadas con datos obtenidos durante Marzo de 2010 en los mismos sitios estudiados durante Enero y Febrero de 2010, muestran que el ancho de la zona intermareal de las playas arenosas ubicadas en la Península de Arauco y alrededores aumentó debido al levantamiento continental en el área (ca. 2-2,5 m). Esto es particularmente evidente en la playa arenosa ubicada frente a la muralla de Punta Lavapie, donde por efecto del levantamiento continental, el ancho de la zona intermareal de la playa aumentó y la plataforma rocosa que antes del terremoto ocurría sumergida, está ahora expuesta al aire durante marea baja (Figura 8). Lo anterior trajo consecuencias positivas y negativas para la fauna de esta playa; antes del terremoto (Enero 2010), la fauna de la misma estaba representada solo por *Emerita analoga* (Figura 8); es decir, la presencia de la muralla había excluido la fauna de los niveles superiores y medios del intermareal. Luego del terremoto esta especie desapareció de la playa, probablemente debido a la presencia de la plataforma rocosa la cual impide que en marea baja ocurra

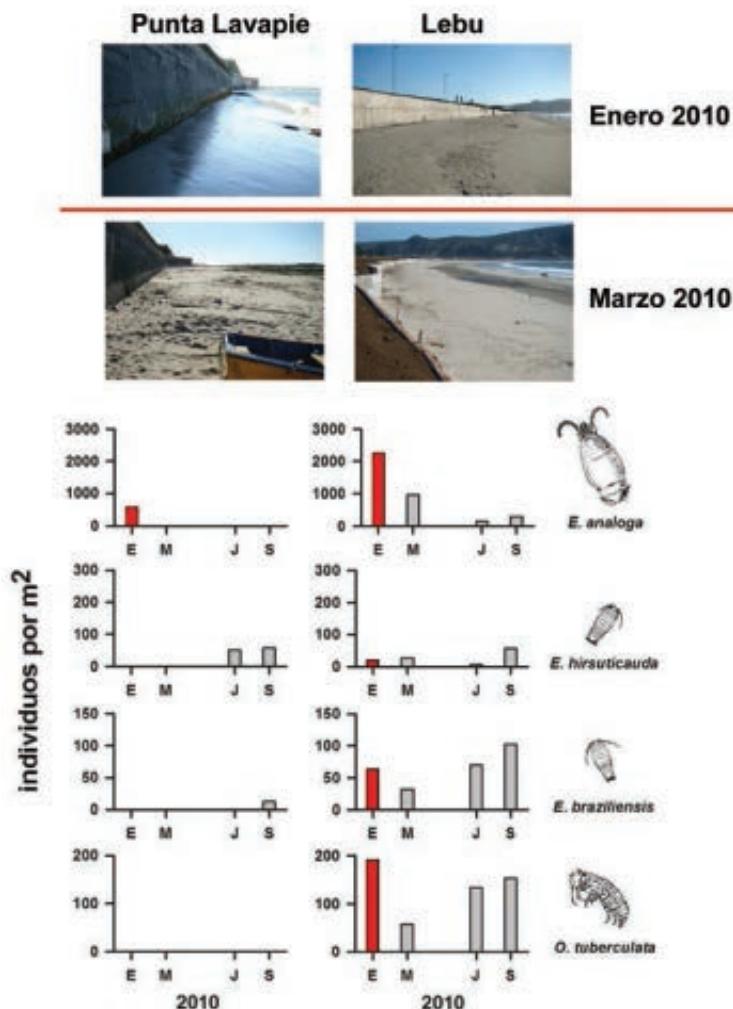


Figura 9 Variabilidad post terremoto y tsunami del 27 de Febrero del 2010 en el ancho de la zona intermareal de las playas arenosas ubicadas frente a las murallas de Punta Lavapie y Lebu y en las abundancias poblacionales de *Emerita analoga*, *Excirolana hirsuticauda*, *Excirolana braziliensis* y *Orchestoidea tuberculata*. E=Enero 2010, M=Marzo 2010, J=Julio 2010, S=Septiembre 2010. Fotos: Eduardo Jaramillo.

una zona de rompiente de las olas (Figura 8), el hábitat típico de *E. analoga*. Esta situación es análoga al efecto de las murallas costeras, pero en los niveles inferiores de la playa. Por el contrario, el levantamiento continental originó nuevo hábitat intermareal, lo que ha resultado en la colonización de ese espacio por especies como *Excirolana hirsuticauda* y *Excirolana braziliensis*, las que antes del terremoto habían sido excluidas de la playa por la presencia de la muralla (Figura 9). En este caso, el levantamiento continental produjo un efecto análogo al observado en la zona superior y media del intermareal arenoso carente de murallas. En aquellas playas donde hubo levantamiento continental como Lebu, pero donde la muralla estaba ubicada más arriba del nivel de marea alta (es decir, el oleaje no interactuaba con la marea), no se observó desaparición de especies, sino solo disminuciones poblacionales inmediatamente después de ocurrido el terremoto y tsunami del pasado 27 de Febrero de 2010 (Figura 9).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que la presencia de murallas que interactúan con el oleaje durante marea alta (Figura 10a), afecta significativamente las abundancias poblacionales de la macrofauna de las playas arenosas de la costa del Biobío y del Maule. Esto no es trivial, ya que los organismos que forman parte de esta macrofauna cumplen un importante rol en el funcionamiento de los ecosistemas de playas arenosas, ya sea como reductores de la materia orgánica que es arrojada a las playas por el oleaje o como alimento base para peces de importancia económica (*Orchestoidea tuberculata* y *Emerita analoga*, respectivamente). Por el contrario, aquellas murallas que no interactúan con el oleaje durante marea alta (Figura 10b), parecen no afectar las abundancias poblacionales de la fauna de playas arenosas. Por lo tanto, la planificación de la instalación de defensas costeras como las murallas aquí analizadas, debe tener en cuenta el ancho de la



Figura 10 a) Olas reflejándose directamente sobre una muralla de la costa del sur de Chile (Maicolpue, Osorno) durante marea alta; en este caso la energía de las olas interactúa directamente con la muralla produciendo pérdida de arena en la base de la misma. b) Olas disipándose sobre la playa ubicada frente a la muralla de Lebu; en este caso, la energía de las olas no interactúa directamente con la muralla durante marea alta con excepción de periodos donde ocurren grandes tormentas o eventos extremos (e.g. tsunami del 27 de Febrero 2010). Fotos: Eduardo Jaramillo.

zona intermareal (o dicho de otro modo, el nivel hasta el cual llega la marea alta durante mareas de luna llena o luna nueva cuando la variabilidad mareal es mayor), con el objetivo de ubicar esas murallas en áreas de la playa donde la interacción con el oleaje sea menor y donde consecuentemente la erodabilidad del sustrato se disminuya al máximo. Debe tomarse en cuenta además, la interacción entre defensas costeras y eventos naturales extremos como el terremoto del 27 de Febrero de 2010, ya que en la costa levantada de la Península de Arauco tal levantamiento restauró parte de la zona intermareal la que ha sido recolonizada por especies típicas de los niveles superiores y medios, las que habían sido excluidas del área por la instalación de defensas costeras con anterioridad a ese evento. De este modo, puede compatibilizarse el desarrollo urbano de la costa y la estabilidad ambiental de los ecosistemas arenosos aledaños; situación particularmente importante en la reconstrucción del borde costero de la costa del Biobío y Maule, devastada por el terremoto y tsunami del 27 de Febrero del año 2010.

BIBLIOGRAFIA

- BARRIENTOS, S. E. Slip distribution of the 1985 Central Chile earthquake. *Tectonophysics* 145, 1988, p. 225-241
- BIRD E.C.F. Coastal Geomorphology: An Introduction. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2000, 322 pp.
- BROWN A.C., MCLACHLAN A. Ecology of sandy shores. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1990, 328 pp.
- BROWN A.C. Biology of sandy beaches. In: *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Volume 5, ed. J.H. Steele, S.A. Thorpe and K.K. Turekian, London, UK: Academic Press, 2001, p. 2496–2504.
- BROWN A., MCLACHLAN A. Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*, 29, 2002, p 62-77.
- CHARLIER R.H., CHAINEUX M.C.P., MORCOS S. Panorama of the history of coastal protection. *Journal of Coastal Research* 21, 2005, p. 79-111.
- de RUYCK A., SOARES A.G., MCLACHLAN, A. Social carrying capacity as a management tool for sandy beaches. *Journal of Coastal Research* 13, 1997, p. 822–830.
- EDNEY J.J., JORDAN-EDNEY N.L. Territorial spacing on a beach. *Sociometry* 37, 1974, p 92–104.
- FARÍAS, M. *et al.* Land-level changes produced by the 2010 Mw 8.8 Chile earthquake. *Science* 329, 2010, p. 916.
- GRIGGS G.B. The armoring of California's coast. In: Magoon O.T., Converse H., Baird B., Miller-Henson M. (Eds), *California and the World Ocean '97 Conference Proceedings*. American Society of Civil Engineers, VA, 1998, p. 515-526.
- GRIGGS G.B. California's retreating coastline: where do we go from here? In: Magoon O.T., Converse H., Baird B., Miller-Henson M. (Eds), *California and the World Ocean, Conference '02 Revisiting and Revising California's Ocean Agenda*. American Society of Civil Engineers, VA, 2005a, p. 121-125.
- GRIGGS G.B. The impacts of coastal armoring. *Shore and beach*, 73, 2005b, p. 13-22.
- IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Nogeur, P.J. van der Linden & D. Xiaosu. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001a.
- IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptations and Vulnerability*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. J. J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001b.
- IPCC. *Climate Change 2001: Mitigation*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. B. Metz, O. Davidson, R. Swart & J. Pan. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2001c.
- JARAMILLO, E. The sand beach ecosystem of Chile. In: Seeliger U & B Kjerfve (eds) *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. *Ecological Studies* 144, 2001, p. 219-227. Springer Verlag, Berlin
- KRAUS N.C., MCDUGAL W.G. The effects of seawalls on the beach: part 1, an updated literature review. *Journal of Coastal Research*, 12, 1996, p. 691-701.
- LOMNITZ, C. Major earthquakes of Chile: a historical survey, 1535-1960. *Seismological Research Letter* 75, 2004, p. 368-378.
- MCLACHLAN A., JARAMILLO E. Zonation on sandy shores. *Oceanography and Marine Biology: Annual Review*, 33, 1995, p. 305-335.
- NORDSTROM K.F. *Beaches and Dunes on Developed Coast*. Cambridge University Press, Cambridge, 2000, 338 pp.
- PLAFKER, G. & SAVAGE, J. C. Mechanism of the Chilean earthquake of May 21 and 22, 1960. *Bulletin Geological Society of America* 81, 1970, p. 1001-1030.
- SCHLACHER T.A., SCHOEMAN D.S., DUGAN J., LASTRA M., JONES A., SCAPINI F., MCLACHLAN A. Sandy beach ecosystems: key features, sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Marine Ecology: An evolutionary perspective* 29, 2008, p. 70-90
- SLOTT J.M., MURRAY A.B., ASHTON A.D., CROWLEY T.J. Coastline responses to changing storm patterns. *Geophysical Research Letters* 33, 2006, L18404.