

Investigación

Dinámicas de resiliencia en la zona de Constitución (Maule, Chile) después del terremoto y tsunami de 2010

DYNAMIC OF RESILIENCE IN CONSTITUCIÓN (MAULE, CHILE) AFTER EARTHQUAKE AND TSUNAMI OF 2010

Alejandra Mora Soto

Geógrafa y Académica de la Escuela de Geografía, Universidad Academia de Humanismo Cristiano

Colaboradores: Abarca, Francisco; Cabrera, Dominique; León, Valeria; Bustos, Natalia; Barrios, Marco; Larrañaga, Gonzalo; Estrada, Ángela; Cornejo, Josué & Alvarado, Voltaire

Email: amoras@docentes.academia.cl

Resumen

Los tsunamis transforman el espacio, forzando a los sistemas ambientales a cambiar, recuperarse y hacer frente a nuevos eventos de desastre. En este estudio, se identificaron cambios en el área de Constitución (región del Maule, Chile) según sus usos y coberturas de suelo (plantación forestal, vegetación nativa, usos agrícolas y praderas, urbano e industrial, playas, dunas y humedales) y se analizaron en terreno las modificaciones más significativas, identificando su recuperación posterior al evento del tsunami del 27 de febrero de 2010. Se estableció que los cambios más significativos asociados al tsunami fueron los urbanos, a través de procesos de renovación urbana y aumento de construcciones en altura y en algunos casos, en sitios con alto riesgo de ser afectados en remociones en masa e inundaciones. También se identificó una modificación en la distribución de los humedales en las dunas de Putú-Quivolgo que podrían estar asociadas al movimiento de sedimentos de tsunami. Otras coberturas, como las agrícolas y las forestales no han sufrido cambios que se puedan comprender por este fenómeno. Se postula que la resiliencia ambiental ha sido diferencial, variable, y que en ciertos casos ha aumentado las posibilidades de riesgos naturales en el área de estudio.

Palabras clave: Constitución, Terremoto y tsunami de 2010, Resiliencia, Usos y coberturas de suelo

Abstract

Tsunamis change the space, forcing environmental systems to change, recover and cope with new disaster events. In this study, we identified changes in Constitution area (Maule region, Chile) according to their land use and land cover (plantation, native vegetation, agriculture and pasture lands, urban and industrial, beaches, dunes and wetlands), and their more significant changes were analyzed in fieldwork, focusing in the relationship between changes and recovery after the 2010 tsunami. It was established that the more significant changes were urban, through urban renovation processes and rising of new residential buildings, some of them in risk of being affected by landslides and flooding. A change in the distribution of wetland somehow related with the

tsunami was also identified. Other land cover categories, such as farmland and plantation had not suffered tsunami-related changes. It is argued that the environmental resilience is despair, variable, and in some cases, the risk of natural disasters had risen.

Keywords: Constitución, Earthquake and tsunami of 2010, Resilience, Uses and land cover

Introducción

Las costas chilenas tienen una continua recurrencia de eventos sísmicos y tsunamis de gran magnitud. Cisternas et al. (2005) y Hayes et al. (2014) entre otros, han identificado evidencias de grandes tsunamis en un período de 2000 años hasta el presente, donde los últimos se han reportado históricamente en 1575 y 1837; además del ocurrido en 1960 –magnitud Mw 9.5 (Kanamori, 1977)–. La recurrencia de estos eventos asociados a la constante actividad sísmológica del país, indican una dinámica de perturbaciones a través de evidencias sedimentológicas, las que indican series de inundaciones históricas sepultadas por capas recientes de suelo (Lagos & Cisternas, 2004). Por otra parte, el medio ambiente habitado y construido por seres humanos también se ha visto permanentemente perturbado y recuperado en nuevas edificaciones y morfologías, incluso en lugares que vuelven a ser altamente riesgosos (Gutiérrez et al., 2013). En su conjunto, estas dinámicas pueden analizarse a la luz de su resiliencia, es decir, indagar cómo un sistema ha cambiado o se ha adaptado a las nuevas condiciones después de un evento de desastre.

En el texto se presenta una investigación¹ que abordó el caso de la ciudad de Constitución y alrededores, después del evento de terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010. Para el desarrollo del estudio

se utilizaron imágenes satelitales procesadas como clasificación supervisada, para caracterizar en términos generales cómo cambiaron las coberturas y usos de suelos en un período que abarca desde 2009 hasta 2014. Posteriormente, los principales cambios en el área de estudio, se revisaron en trabajo de campo con el propósito de cotejar las diferenciaciones probables, según distintos tipos de coberturas, e iniciar la discusión con los resultados preliminares. Es importante destacar que gran parte de la generación, procesamiento y análisis de la información presentes en este trabajo, fue desarrollado por estudiantes del curso de Teledetección de la Escuela de Geografía de la Universidad Academia de Humanismo Cristiano, en el programa de pregrado.

Este documento contempla las siguientes secciones: en primer lugar, se presenta un breve marco contextual sobre el terremoto de 2010 y el concepto de resiliencia; un segundo apartado presenta las metodologías de clasificación supervisada, análisis cuantitativo y obtención de datos en terreno; en la tercera sección se expondrán los principales cambios detectados según cobertura de suelo; y, finalmente, se discutirá sobre el concepto de resiliencia aplicado a estos espacios.

1 Núcleo Temático de Investigación financiado por la Universidad Academia de Humanismo Cristiano.

Marco teórico

El terremoto y tsunami de 2010

En la madrugada del 27 de febrero de 2010 –06:34 UTC; 03:34 hora local–, en las costas chilenas ocurrió un evento sísmico mayor dentro de la historia geológica del planeta. El movimiento sísmico de magnitud 8.8 Mw, con epicentro ubicado a 35 kilómetros de profundidad, frente a la costa de la región del Maule, generó una zona de ruptura de 500 km (USGS, 2010), con una aceleración promedio de 6 m s⁻¹ de movimiento horizontal (Madariaga, 2010), el cual provocó un ascenso de la línea de costa de 250±60 cm a lo largo de la península de Arauco y la isla de Santa María (Vargas et al., 2011). El terremoto fue el origen de un tsunami que llegó a la costa aproximadamente 20 minutos después del sismo en tres olas sucesivas y otra posterior a las 8 de la mañana (Spiske & Bahlburg, 2011) inundando 800 km de borde continental, llegando al archipiélago de Juan Fernández, a 670 km de la línea de costa; y la Isla de Pascua a 3700 kilómetros. En el continente, la extensión de la inundación alcanzó 2 kilómetros tierra adentro (Fritz et al., 2011; Morton et al., 2011). La potencia de las olas permitió cargar bloques de hasta 1 metro de diámetro a 400 metros tierra adentro (Morton et al., 2011). Las víctimas fatales de este evento fueron 521 personas, relativamente pocas en comparación con otros eventos de similar magnitud en el mundo, en parte debido a la buena construcción de edificios e infraestructura del país, considerando la recurrencia de estos acontecimientos (Madariaga et al., 2010). De todas formas, se debe destacar el reporte de 830 fallas en la red vial, afectando directamente el sistema de transporte (Elnashai et al., 2011). En forma específica, las víctimas fatales relacionadas directamente con el tsunami fueron 124, la mayoría turistas, mientras que los pescadores fallecidos fueron 8, lo cual refleja el conocimiento local frente a este tipo de desastres (Marín et al., 2010).

Al respecto de este episodio sísmico y tsunamigénico, es que se enfoca el área de estudio, particularmente en la región de Constitución. Fritz et al. (2011) reportaron que el tamaño del tren de olas, en su punto máximo, alcanzó los 29 metros de altura; inundando la isla Orrego, ubicada en el estuario del río Maule en 10 metros de profundidad. La ciudad de Constitución, ubicada en la rivera sur del río, fue inundada en una distancia máxima de 500 metros (ver figura 1). Morton et al. (2011) identificaron una gran cantidad de escombros depositados por el tsunami en la rivera norte del río. Otros estudios, como Jaramillo et al. (2010) indican cambios ecológicos asociados con el sollevamiento y hundimiento de diferentes playas –ubicadas por cierto al sur de Constitución–, como la presencia de nuevas colonizaciones, competencia, incrementos y también extinciones locales de diferentes especies.

Resiliencia

El concepto de resiliencia proviene de la ecología, desde donde se ha extendido por las ciencias geográficas. Es importante destacar que su enfoque originario es de carácter cuantitativo. Según Holling (1973), corresponde a la persistencia de interrelaciones en un sistema y es una medida de la capacidad *ex post* de absorber cambios, modificar variables y parámetros, logrando así permanecer. Es necesario distinguir esta definición de los términos de vulnerabilidad y adaptación: el primero, proveniente de los estudios de riesgos naturales, y se refiere a una capacidad anticipatoria para hacer frente, resistir y recuperarse de impactos de un desastre natural; mientras que el término adaptación es de carácter más social y se refiere a los ajustes necesarios en procesos, prácticas y estructuras para responder a las consecuencias de cambios (Janssen et al., 2006). Estos conceptos se han visto cada vez más interrelacionados a medida que aumentan los estudios inter-

disciplinarios sobre las dimensiones humanas de los cambios medioambientales globales (Janssen et al., 2006). En este estudio, se utilizó el enfoque de Cutter et al. (2008), para analizar el espacio geográfico como un sistema de interacciones sociales, donde las disparidades espaciales tienen diferentes niveles de vulnerabilidad y resiliencia, los cuales pueden

causar diferentes respuestas de recuperación, reorganización, aprendizaje y adaptación. A su vez, se incorporará el trabajo de Villagra & Rojas (2013) acerca de la compatibilidad de las ciudades chilenas y su capacidad de recuperación frente a la recurrencia de eventos naturales.

Área de estudio y métodos

El área de estudio de trabajo fue la ciudad de Constitución, localizada en la zona estuarial del río Maule y el borde costero de la región del Maule, desde las dunas de Putú-Quivolgo por el norte hasta la localidad de los Pellines por el sur, en una superficie total de 969,2 km² (figura 1). Se utilizaron imágenes de los sensores TM y OLI de los satélites LANDSAT 5 y 8, respectivamente (ver tabla 1) de dos fechas anteriores y ocho fechas posteriores al tsunami del 27 de febrero de 2010, las cuales tienen una diferencia temporal entre ellas de al menos tres meses. No existen imágenes adecuadas del área de estudio correspondientes al año 2012, por su presencia de nubes. Las imágenes fueron recortadas y calibradas a

niveles de reflectancia, para luego ser clasificadas en cuanto a sus coberturas de uso de suelo, utilizando para ello como referencia el catastro de bosque nativo de CONAF de la Región del Maule del año 2009 (CONAF, 2009).

A través del trabajo de fotointerpretación y de la referencia del Catastro CONAF se establecieron las siguientes clases para la clasificación supervisada: uso agrícola y praderas; playas y dunas; plantación forestal; plantación joven y recién cortada; matorral, nativo, renoval y mixto; urbano, industrial y minero. La clasificación aplicada a la imagen del 7 de marzo de 2009 fue la base de referencia para las imágenes posteriores. Se estableció un mínimo aceptable de

Tabla 1. Imágenes utilizadas en el estudio.

Fecha	Sensor	ID imagen
07-mar-09	TM- Landsat 5	LT50010842009066COA04
21-ene-10	TM- Landsat 5	LT50010842010021COA01
26-mar-10	TM- Landsat 5	LT50010842010085COA01
18-sep-10	TM- Landsat 5	LT50010842010261COA01
08-ene-11	TM- Landsat 5	LT50010842011008COA01
20-ago-11	TM- Landsat 5	LT50010842011232CUB00
06-jun-13	OLI- Landsat 8	LC80010842013157LGN00
31-dic-13	OLI- Landsat 8	LC80010842013365LGN00
21-mar-14	OLI- Landsat 8	LC80010842014080LGN00
31-oct-14	OLI- Landsat 8	LC80010842014304LGN00

75% de precisión (Coeficiente Kappa de 0.7) para cada clasificación supervisada, el cual se aplicó utilizando el método de máxima verosimilitud (*maxi-*

um likelihood). Este algoritmo consiste en un proceso de asignación de píxeles a distintas clases, en base a la distribución de los valores digitales de un

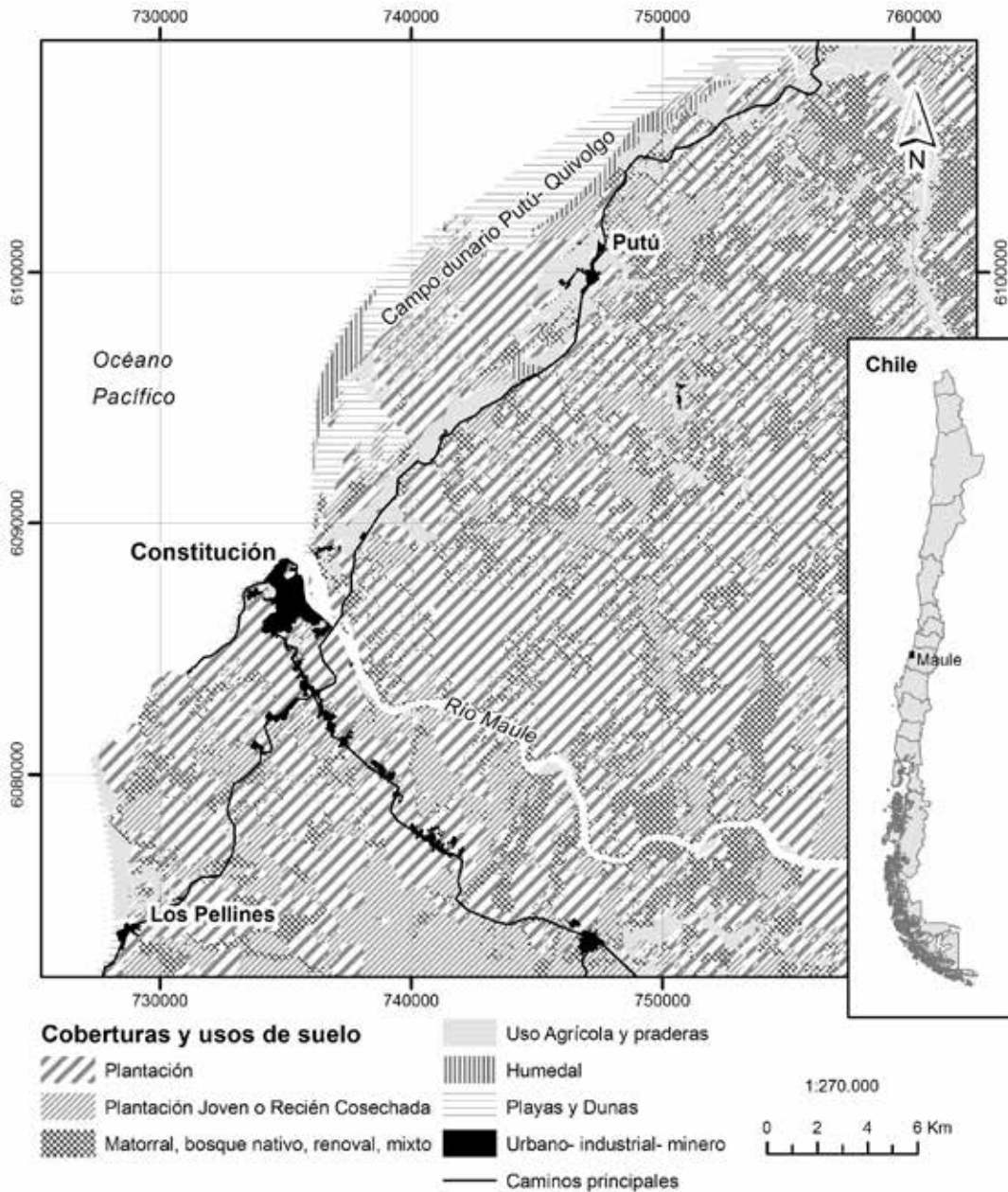


Figura 1. Área de estudio, simbolizada por coberturas y usos de suelo, clasificada al año 2009.

grupo de píxeles representativos, asignados en forma manual. La forma de distribución de los valores debe tener una distribución normal (Cetin et al., 2004). Para desarrollar este procedimiento se utilizó el software Envi versión 4.7.

Los resultados de la clasificación supervisada se analizaron en cuanto a la variación de las superficies de cada clase; las clases luego se verificaron en terreno para confirmar el grado de error. El método de muestreo fue diferencial según cada clase; en el caso de lo urbano, se identificaron los lugares que habían sido modificados por causa del tsunami o te-

rremoto y luego se cartografiaron utilizando tomas de muestras y fichas con GPS y fotointerpretación en gabinete. En el caso de las dunas y humedales de Putú-Quivolgo, se realizaron transectas donde se confirmó grados de estabilización, cobertura vegetal y presencia de depósitos de tsunamis. En el caso de las coberturas de plantación, plantación joven o recién cortada, y especies nativas, se confirmó la clasificación supervisada a través de observación intencional no probabilística, sólo en los caminos de acceso público del área de estudio (rutas M-50, M-30-L y M-24-K).

Resultados

Panorama general

Las mayores coberturas son las de origen antrópico: la plantación forestal de pinos y eucaliptos, ya sea en forma plenamente desarrollada o en forma joven y recién cortada, abarcan la mayoría de la superficie del área de estudio. La presencia de la clase matorral, bosque nativo, renoval y mixto, se distribuye en forma de parches fragmentados y no conectados entre las superficies de plantación. El área de praderas y uso agrícola se distribuye en forma concentrada al norte de Constitución, en las cercanías de la localidad de Putú. El uso de esta cobertura es mayoritariamente ganadero y de agricultura de pequeña producción. Por último, la mayor presencia de humedales se concentra en las dunas de Putú-Quivolgo (ver figura 1 y tabla 2).

La variación de las coberturas en el período 2010-2014 se presentan en las figuras 2 y 3. En términos generales, las mayores variaciones ocurrieron en las plantaciones forestales y las plantaciones jóvenes y recién cosechadas, las coberturas de humedal y urbanas, industriales y mineras. Los menores cambios se encuentran en la superficie agrícola y las praderas

de carácter ganadero, y la categoría de playas y dunas. Analizaremos en detalle estos cambios a continuación.

Uso urbano (industrial y minero)

La ciudad de Constitución y las otras entidades urbanas presentes en el área de estudio han variado considerablemente su superficie en el período 2011-2014, lo cual se puede explicar por las significativas modificaciones que han ocurrido en forma posterior al terremoto y tsunamis. En la imagen del 21 de enero de 2010, un mes antes del evento, la superficie clasificada como urbana, industrial y minera se contabilizó en 26 km². La importante inundación reportada y la caída de construcciones, no sólo antiguas, generó una importante necesidad y demanda en la construcción de nuevas viviendas. Según los testimonios de informantes clave obtenidos en terreno, los residentes damnificados habitaron durante un período que abarcó desde marzo de 2010 a mediados de 2013 en edificaciones de carácter temporal ubicadas en la periferia de la ciudad, mientras se construyeron viviendas de carácter social, todas ubicadas dentro del perímetro urbano. La superficie

contabilizada por el método de clasificación supervisada indica que la superficie correspondiente a la categoría de cobertura urbana, industrial y minera aumentó a un máximo de 29 km² en el período observado. Al momento de trasladarse a las nuevas viviendas, se eliminó el espacio de urbanización temporal y la superficie urbana total –incluyendo todas las entidades urbanas del área de estudio– se volvió a reducir en superficie a 27 km².

Tras el catastro en terreno se han determinado tres tipos de construcciones habitacionales posteriores a 2010. En primer lugar, se destacan las viviendas de altura y de alta densidad, ejemplo de ello son la villa Las Cumbres (figura 4), villa Quinta Gaete y villa Copihue, donde se ha observado una alta concentración de habitantes por metro cuadrado, como también difícil accesibilidad por encontrarse en caminos de alta pendiente. En este tipo de edificaciones los materiales más recurrentes son el concreto, cemento y revestimientos de madera-plástico. El emplazamiento de la mayoría de estas nuevas construcciones fue en las quebradas y laderas de los cerros que rodean la ciudad de Constitución. A partir de lo anterior, se visualiza un riesgo latente puesto que se encuentran en vías naturales de descarga fluvial o aluvial, viéndose propensos a inundaciones y/o caída de material. Como un factor adicional, se suma la deforesta-

ción presente en estas zonas y la alta meteorización del suelo (figura 5).

El segundo tipo de construcción identificado son las villas o poblaciones de casas que presentan una fisionomía homogénea y de baja densidad, donde generalmente predomina el cemento y la madera en paredes y planchas de zinc en los techos (figura 6). Algunas de las viviendas reconstruidas se encuentran emplazadas en zonas bajas a pocos metros de la costa, paradójicamente en riesgo de inundación si ocurre otro evento de tsunami.

Finalmente se reconocen las viviendas autoconstruidas, que son consecuencia de la respuesta inmediata ante la destrucción provocada por el tsunami. Estas casas son la alternativa para los habitantes que se encargaron en forma privada de generar residencias con distintos tipos de materiales, donde predomina la madera, y a través de la ocupación ilegal de terrenos consiguieron responder a la situación de estar sin hogar. Cabe destacar que actualmente estos sectores que alguna vez fueron tomas de terreno, hoy son villas establecidas, las cuales han logrado pavimentar sus calles principales y obtener redes de electricidad y agua potable en sus viviendas. Un caso emblemático de estas construcciones, es la población La Poza (figura 7).

Tabla 2. Resumen estadístico, clasificación supervisada en el área de estudio (2009-2014)

Clase	Superficie (Km ²)			
	Promedio	DesvEst	Min	Max
Plantación	289,41	92,93	103,72	364,41
Plantación joven o recién cosechada	158,79	93,32	81,53	355,94
Matorral nativo renoval mixto	286,77	29,20	242,35	335,80
Uso agrícola + praderas	90,23	18,00	67,59	119,33
Humedal	34,86	6,65	23,48	44,88
Playas y dunas	23,16	1,29	20,57	25,15
Urbano industrial minero	26,17	7,06	18,53	43,81
Superficie total	969,2 Km2			

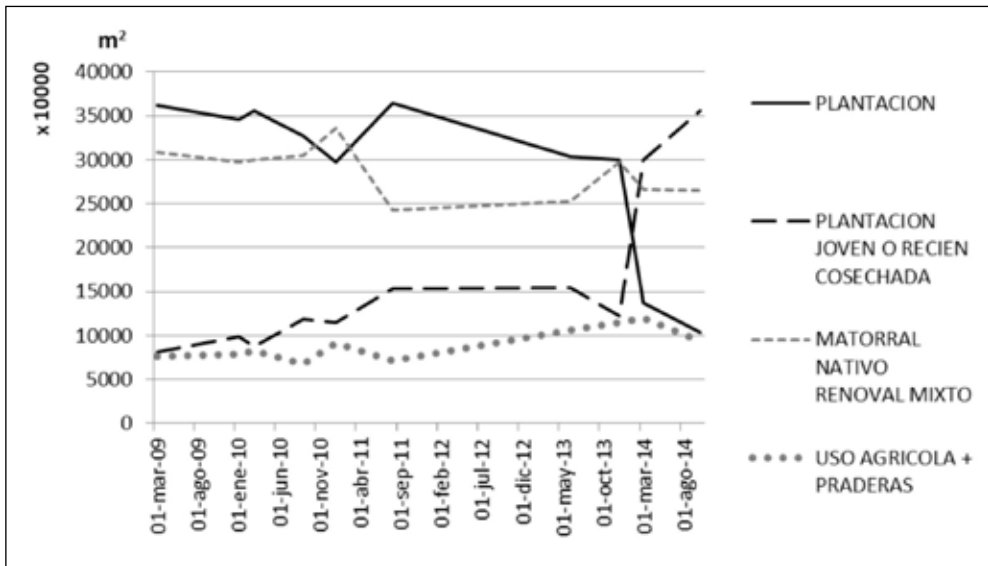


Figura 2. Gráfico de variación en m2 en el período 2010- 2014 de las clases de mayor superficie, en el área de estudio.

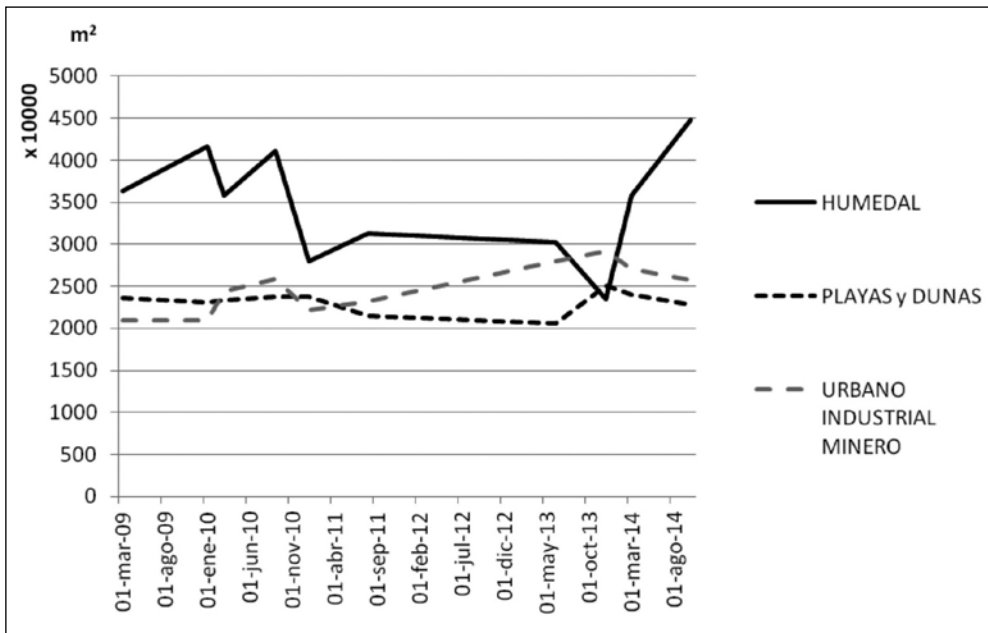


Figura 3. Gráfico de variación en m2 en el período 2010- 2014 de las clases de menor superficie, en el área de estudio.



Figura 4. Conjunto habitacional Villa Las Cumbres.



Figura 5. Conjunto habitacional Villa Las Cumbres ubicado en zona de riesgo, indicado con círculo.



Figura 6. Conjunto habitacional ubicado en la costanera, zona de mayor peligro de inundación.

Por otra parte, una importante modificación del espacio urbano se generó en el centro y la costanera de la ciudad, donde se construyeron nuevas infraestructuras de comercio y servicios. Se renovó además el centro cívico de la ciudad, y se crearon dos monumentos en homenaje a las víctimas del terremoto y tsunami (figura 8). El financiamiento de estas nuevas construcciones de carácter cívico fue de origen estatal (figuras 9 y 10). Cabe rescatar que a través de conversaciones informales con los habitantes de Constitución, la mayoría manifestó que el tsunami había servido para "*botar todo lo viejo, y construir cosas nuevas*" lo cual deja en evidencia un sentido de resiliencia social causado por el estímulo de ver a la ciudad de Constitución con nuevos y modernos espacios, otorgándoles distintos servicios que demarcan una nueva configuración de ciudad.

Las instalaciones industriales, en particular los aserraderos forestales ubicados a orillas del mar, fueron barridos por el tsunami. Algunas de esas instalaciones han desaparecido (figura 11), otras han sido reconvertidas y aumentadas en su capacidad. El caso de la Celulosa Arauco, es el más demostrativo a partir de la observación en terreno, ya que evidencia cómo la industria se renovó en base a la reconstrucción de los daños sufridos tras el tsunami. Este crecimiento industrial abarca un paisaje escénico que propone la disposición de una costanera, la cual incluye paseos peatonales y miradores (figura 12).

Las observaciones obtenidas a través del trabajo en terreno acompañado del catastro de reconstrucción y nuevas edificaciones nos permitieron concluir la investigación en la zona urbana con una cartografía de resumen (figura 13), en ella podemos ver los puntos de reconstrucción más importantes en la ciudad de Constitución tras el tsunami del año 2010.

Playas, dunas y humedales

La unidad con mayor superficie en la categoría Playas y Dunas, es el campo dunario de Putú-Quivolgo. Las dunas representativas de esa unidad son las dunas transversales. De formación bien definida, se disponen perpendicularmente a la dirección de los vientos y tienen diversos grados de estabilización según la presencia de humedales y vegetación que se encuentran en su interior. Las dunas que presentan porcentajes de estabilización más altos son las que se encuentran más lejanas a la línea de costa.

En el recuento de cambio de superficie, las dunas se mantienen en un promedio de extensión de 23 km², con una ligera variación positiva en diciembre de 2013 que luego desciende hasta el promedio. En el caso de los humedales el cambio es más importante, con una diferencia entre sus valores mínimos y máximos de 21,3 km² en el período estudiado. Esta diferencia superficial queda explicada porque los humedales ubicados dentro del campo dunario de Putú-Quivolgo, entre 2009 y 2014, han estado desapareciendo de la parte proximal y avanzando hacia la parte distal, en el sector norte; lo cual no varía necesariamente en el avance o cambio en la superficie total del campo dunario (figura 14).

Para identificar las características de las dunas en el sector norte se realizaron dos transectas (tabla 3 y figura 14). La transecta 1, consta de porcentajes de estabilización más altos, lo cual está justificado en torno a la estrechez de la duna entre la línea de costa y bosque forestal de la zona de Cuchi. La mayoría de las dunas son parcialmente estabilizadas. Las especies representativas en las zonas con índices de estabilización son *Ambrosia chamissonis* (dicha grande) y *Ammophila arenaria* (amófila). En cambio, la transecta 2 posee dunas de mayor altura y bajo porcentaje de vegetación, ya que el espacio entre la línea de costa y los humedales es más amplio, destacando la presencia de dunas activas.



Figura 7. Población La Poza, ex toma de terrenos.



Figura 8. Fotografía del Monumento "El Hombre saliendo del mar", homenaje a los pescadores y habitantes de Constitución, Escultor: Cristian Muñoz Gutiérrez. Fecha: junio 2013.



Figura 9. Fotografía del nuevo Centro Cultural de Constitución.



Figura 10. Iglesia reconstruida de Constitución.



Figura 11. Industria maderera en ruinas, ubicada en frente a vertiente del río Maule y el Océano Pacífico.



Figura 12. Paseos Peatonales en la ruta de la Celulosa Arauco.

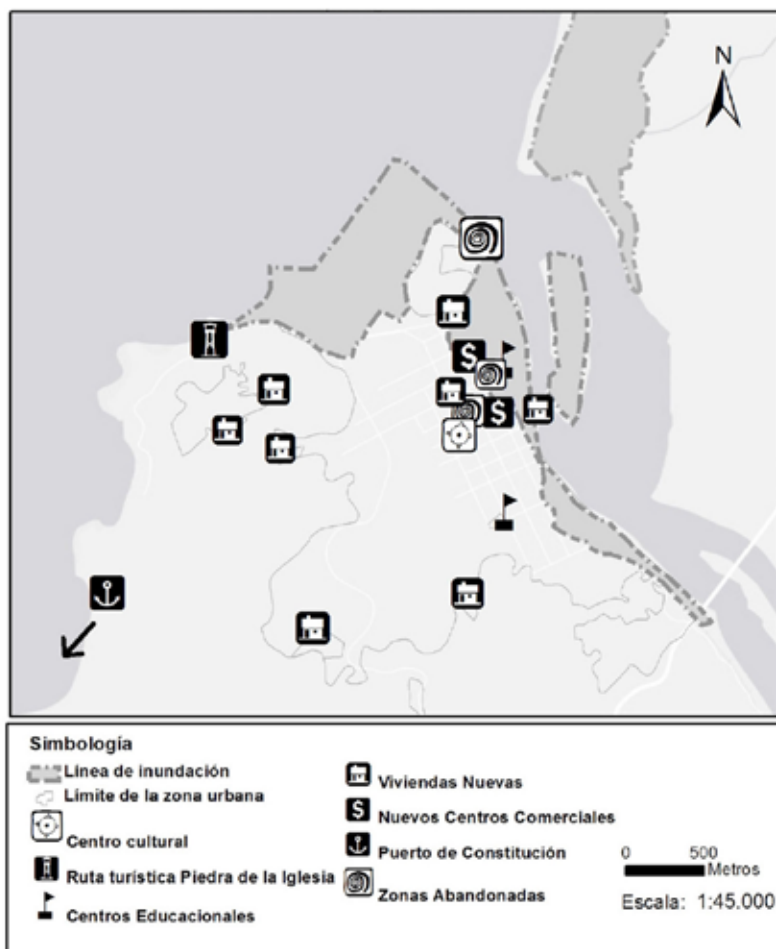


Figura 13. Catastro de Resiliencia Espacial en zona urbana, Constitución, Región del Maule, Chile. Cartografía resumen de nuevas residencias y equipamiento en el área de estudio.

Tabla 3. Cuadro comparativo de transectas según variables físicas.

	Cobertura Vegetal (%)	Granulometría	Estado de Estabilización	Altura Promedio (metros)	Grado de Intervención
Transecta 1	10%	Medio 1/4 -1/2	Mínimo a Medio	3	Sin Intervención
Transecta 2	0%	Fino 1/4 -1/8	Nulo	7	Mínimo

Coberturas pradera y agrícola, matorral y plantación

La superficie agrícola y de praderas en el área de estudio se mantiene en un promedio de extensión en los 90 km² con una leve variación temporal, que podría ser interpretado como una clasificación cercana en sus valores de reflectancia, con coberturas de matorrales o renovales, lo cual podría variar el número de su superficie total. Con respecto a la cobertura de matorrales y bosques nativos, se encontró en condición fragmentaria a lo largo de los caminos, sólo

presente en algunos parches que rodeaban el mosaico de plantaciones forestales, en forma de algunos árboles nativos aislados. Sus variaciones pueden ser interpretadas como una inclusión como error de comisión u omisión dentro de las coberturas de plantación forestal causados por similares valores de reflectancia.

No se observó que la variación de plantaciones forestales, reemplazadas por coberturas de plantaciones cortadas o jóvenes, fuese una consecuencia de la reconstrucción posterior a los eventos del 27 de

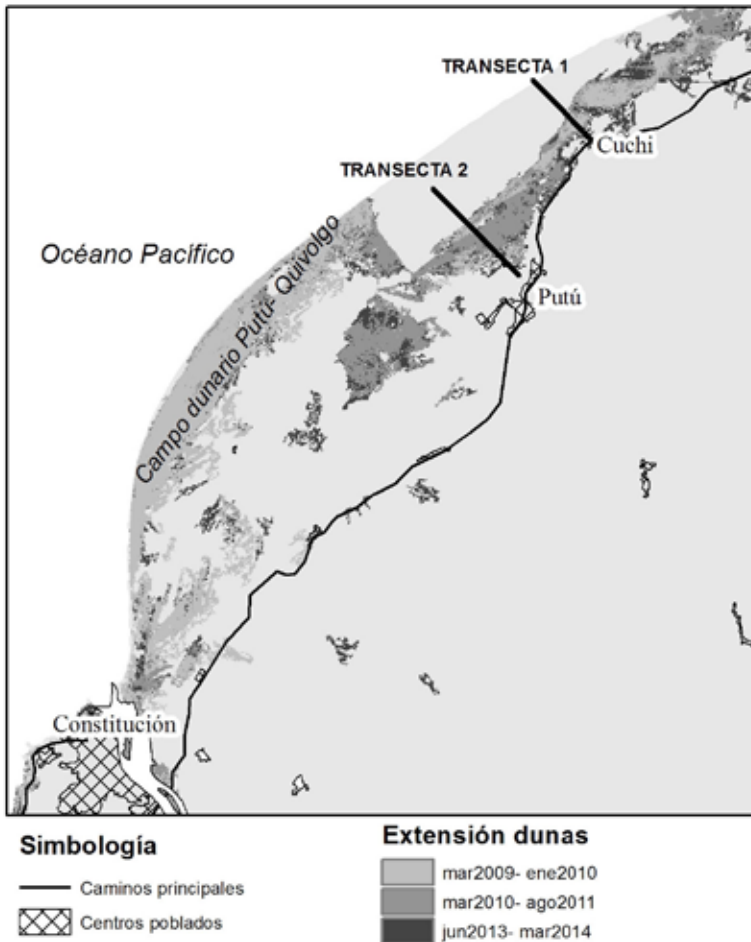


Figura 14. Variación de la superficie de humedal hacia el Norte en las dunas de Putú- Quivolgo, en el período 2010-2014 (análisis de cambios de máscaras de cobertura).

febrero de 2010, dado que en gran medida el daño del terremoto y tsunami se observó en las instalaciones urbanas e industriales asociadas con la actividad forestal (celulosa, aserraderos); a la vez que la recons-

trucción fue financiada directamente por el Estado y no necesariamente por la industria forestal. Creemos que los cambios, por tanto, no tienen que ver con dinámicas de resiliencia después de esta perturbación.

Discusión

Con respecto a la ciudad de Constitución, tal parece que aunque el evento de desastre fue relativamente reciente, no se aplicaron normativas que consideraran un estudio de riesgo más integral, que involucre no sólo las áreas de inundación y las vías de evacuación frente a un tsunami sino que otros elementos de riesgo tales como la construcción en laderas y quebradas inestables. Esto se puede quizás como una falencia en aprender del evento catastrófico para generar mayores adaptaciones en el futuro. En el caso de Corral, una ciudad que fue totalmente destruida por el tsunami del año 1960, el estudio de Gutiérrez et al. (2013) indicó que la percepción del riesgo es relativamente baja, a pesar de haber reconstruido en áreas que fueron inundadas; como también parece ocurrir en el caso de Constitución. Con respecto a la adaptación a los próximos eventos de tsunami, León & March (2014) indican que para acelerar los tiempos de huida en una emergencia de tsunami, se deberían generar ciertas modificaciones en las vías de acceso y los espacios abiertos. No iden-

tificamos mejoras significativas al respecto en nuestro trabajo de catastro.

Aunque el trabajo de campo no estaba enfocado directamente a la caracterización socioeconómica de los residentes, en conversaciones informales se nos comentó que con la reconstrucción y la entrega de viviendas han llegado al lugar personas de otras ciudades, las cuales han cambiado social y culturalmente a la comunidad local.

Por otra parte, el avance de los humedales, pero no necesariamente de las dunas, puede estar clarificado con las modificaciones erosivas y sedimentarias de la línea de la costa al norte del campo dunario de Putú-Quivolgo, el cual fue reportado por Villagrán et al. (2013) en las costas al norte del río Mataquito. Es probable que el material sedimentario no estabilizado pueda estar depositándose en las dunas al norte del río Huenchumallí, o pueda estar en movimiento por los cambios verticales en el nivel del mar como ha ocurrido con la boca del río Mataquito.

Conclusiones

La resiliencia entendida como recuperación y reorganización de espacio geográfico se manifestó en forma diferencial según cada uso y cobertura del suelo. Los mayores cambios se manifestaron en la cobertura urbana, que aumentó y luego descendió en su tamaño final, asociado a la reconstrucción

de viviendas de alta densidad dentro de la periferia urbana, recuperación de los espacios urbanos, creación de monumentos y aumento de la infraestructura pública. Otros cambios posibles de esperar, por ejemplo el aumento del tamaño superficial del campo dunario de Putú-Quivolgo, no se dieron como tal,

y en cambio si se presentó una variación del avance de coberturas de humedales. En cambio, otros usos, como el agrícola y de praderas, además del forestal, no han sufrido cambios significativos a propósito del terremoto y del tsunami. En cuanto a la resiliencia

entendida como aprendizaje y adaptación frente a desastres se identificaron algunos elementos de alerta para ser tomados en cuenta por los planificadores urbanos y los sistemas de prevención locales.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el concurso de investigación Núcleos Temáticos de Investigación de la Universidad Academia de Humanismo Cristia-

no (2014). Agradecemos a Víctor Verdugo y José A. Valenzuela por su acompañamiento e información en nuestra salida a terreno.

Bibliografía

- Cetin, M.; Kavzoglu, T. & Musaoglu, N. (2004) Classification of multi-spectral, multi-temporal and multi-sensor images using principal components analysis and artificial neural networks: Beykoz case. Proceedings XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing-Congress, Istanbul, Turkey, July 12-23, 2004.
- Cisternas, M.; Atwater, B.; Torrejón, F.; Sawai, Y.; Machuca, G.; Lagos, M.; Eipert, A.; Youlton, C.; Salgado, I.; Kamataki, T.; Shishikura, M.; Rajendran, C.; Malik, J.; Rizal, Y. & Husni, M. (2005) Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 437, 404-407.
- CONAF (2009) Catastro de bosque nativo de Chile, Región del Maule. <http://sit.conaf.cl>
- Cutter, S.; Barnes, L.; Berry, M.; Burton, C.; Evans, E.; Tate, E. & Webb, J. (2008) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18, 598-606.
- Elnashai, A. S., Gencturk, B., Kwon, O. S., Al-Qadi, I. L., Hashash, Y., Roesler, J. R., Kim, S. J., Jeong, S. H., Dukes, J. & Valdivia, A. (2010) The Maule (Chile) Earthquake of February 27, 2010: Consequence Assessment and Case Studies. Mid-America Earthquake (MAE) Center, Research Report 10-04, Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Fritz, H.; Petroff, C.; Catalán, P.; Cienfuegos, R.; Winckler, P.; Kalligeris, N.; Weiss, R.; Barrientos, S.; Meneses, G.; Valderas-Bermejo, C.; Ebeling, C.; Papadopoulos, A.; Contreras, M.; Almar, R.; Domínguez, J. & Synolakis, C. (2011) Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 11(168), 1989-2010.
- Gutiérrez, P.; Peña-Cortés, F. & Cisternas, M. (2013) Repoblamiento, actividades productivas y percepción del riesgo en Corral, 50 años después del tsunami de 1960. *Revista de Geografía Norte Grande*, 56, 207-221.
- Hayes, G.; Matthews, H.; Banhart, W.; Furlong, K.; Riquelme, S.; Benz, H.; Bergman, E.; Barrientos, S.; Earle, P. & Samsonov, S. (2014) Continuing megathrust earthquake potential in Chile after the 2014 Iquique earthquake. *Nature*, 512, 295-298.
- Janssen, M.; Schoon, M.; Ke, W. & Börner, K. (2006) Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change* 16(3), 240-252.
- Jaramillo, E.; Dugan, J.; Hubbard, D.; Melnick, D.; Manzano, M.; Duarte, C.; Campos, C. & Sanchez, R. (2012) Ecological Implications of Extreme Events: Footprints of the 2010 Earthquake along the Chilean Coast. *PLOS ONE* 7(5).
- Kanamori, H. (1977) The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82(20), 2981-2987.
- Lagos, M. & Cisternas, M. (2005) Depósitos de tsunami como indicadores de riesgo: evidencias sedimentarias. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 49, 329-351.

- León, J. & March, A. (2014) Urban morphology as a tool for supporting tsunami rapid resilience: A case study of Talcahuano, Chile. *Habitat International*, 43, 250-262.
- Madariaga, R.; Métois, M.; Vigny, C. & Campos, J. (2010) Central Chile finally breaks. *Science*, 328(5975), 181-182.
- Marín, A.; Gelcich, G.; Araya, G.; Olea, G.; Espíndola, M. & Castilla, J. (2010) The 2010 tsunami in Chile: Devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Marine Policy* 34(6), 1381-1384.
- Morton, R.; Gelfenbaum, G.; Buckley, M. & Richmond, B. (2011) Geological effects and implications of the 2010 tsunami along the central coast of Chile. *Sedimentary Geology* 242, 34-51.
- Spiske, M. & Heinrich, B. (2011) A quasi-experimental setting of coarse clast transport by the 2010 Chile tsunami (Bucalemu, Central Chile). *Marine Geology* 289, (1-4), 72-85
- United States Geological Survey [USGS] (2010) Magnitude 8.8 - Offshore Bio-Bio, Chile. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/> (Revisado el 1 de Agosto de 2015).
- United States Geological Survey [USGS] (2014) Largest Earthquakes in the World Since 1900. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php (Revisado el 29 de Marzo de 2014).
- Vargas, G.; Farías, M.; Carretier, S.; Tassara, A.; Baize, S. & Melnick, D. (2011) Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw 8.8 Maule earthquake in Central Chile. *Andean Geology*, 38(1), 219-238.
- Villagra, P. & Rojas, C. (2013). Dimensiones física y cultural de la resiliencia post-desastre: ¿son compatibles en ciudades chilenas? *Revista Geográfica del Sur*, 4(6), 85-102.
- Villagran, M.; Cienfuegos, R.; Catalán, P. & Almar, R. (2013). Morphological response of central Chile sandy beaches to the 8.8 Mw 2010 earthquake and tsunami. *Proceeding of Coastal Dynamics*, 24-28.

Fecha de recepción: 30 junio 2014

Fecha de aceptación: 30 diciembre 2014