

CARTA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI (CITSU) COMO UNA HERRAMIENTA DE APOYO A LA GESTIÓN DE ÁREAS COSTERAS: CASO DE ESTUDIO PARA CORONEL.

TSUNAMI INUNDATION CHART (CITSU) AS A TOOL TO SUPPORT COASTAL AREA MANAGEMENT: A CASE STUDY FOR CORONEL.

Sra. Cecilia Zelaya Gómez¹, Sr. Igor Olivares Espinoza¹, Srta. Nayadet Pulgar Vera¹, Srta. Carolina Henríquez König¹

RESUMEN

Debido a la localización geográfica del territorio chileno, dentro de un margen convergente al oeste de la Cuenca del Pacífico, su borde costero se encuentra permanentemente expuesto a la amenaza de tsunami de origen sísmico, tanto de campo cercano, como de fuentes lejanas, por lo que es necesario que las comunidades costeras cuenten con herramientas que le permitan efectuar una adecuada planificación territorial de tal manera que se pueda gestionar de forma eficiente los espacios y así mitigar los daños a la infraestructura y evitar la pérdida de vidas humanas. En el presente estudio se determinó el grado de exposición de la ciudad de Coronel por amenaza de tsunami utilizando la metodología de modelación numérica e integrándola mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) con bases de datos territoriales para interrelacionar el grado de exposición comunal. De este modo, se obtuvieron mapas de amenaza temáticos georreferenciados, que permitieron identificar y visualizar las áreas geográficas más críticas para la comuna ante la amenaza de tsunami y, a partir de los cuales, se proponen como herramientas para una adecuada gestión del riesgo y como un apoyo en la implementación de las acciones de prevención y mitigación necesarias para el borde costero de Coronel, tomando en consideración factores como la reducción de la vulnerabilidad y planificación territorial.

Palabras Clave: Amenaza de tsunami, CITSU, modelación numérica, gestión costera, Coronel.

ABSTRACT

Due to the geographical location of the Chilean territory, within a convergent margin to the west of the Pacific Basin, its coastline is permanently exposed to the threat of tsunamis of seismic origin, both from near and distant field sources, thus revealing the necessity for coastal communities to have tools to allow them to carry out adequate territorial planning in such a way that spaces can efficiently be managed to avoid the loss of human lives and to mitigate damage to infrastructure. In the present study, the degree of exposure of the county of Coronel due to tsunami threat was determined using numerical modeling methodology and integrating it through Geographic Information Systems (GIS) with territorial databases to interrelate the degree of communal exposure. The obtained georeferenced thematic hazard maps, generated through this methodology, allowed the identification and visualization of the most critical geographic areas for the county, revealing their usefulness as tools to adequately manage the risk and support the implementation of the necessary prevention and mitigation actions for the coastline of Coronel, taking into consideration factors such as vulnerability reduction and territorial planning.

Key words: Tsunami hazard, CITSU, numerical modeling, coastal management, Coronel.

¹ Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Valparaíso, Chile.

Fecha de recepción: 27 de Julio de 2022

Fecha de aprobación: 13 de Septiembre de 2022.

INTRODUCCIÓN

Los tsunamis constituyen uno de los fenómenos naturales cuyas características los hacen altamente destructivos, afectando a la mayoría de los países costeros, especialmente a los ubicados en el Cinturón de Fuego del Pacífico, debido a que esta zona es donde se registra el mayor número de sismos en el mundo.

Chile, por su ubicación geotectónica en la cuenca del Pacífico Sur Oriental, está expuesto al impacto directo de tsunamis de fuente cercana y lejana, y está incluido dentro de los países que con mayor frecuencia se ven afectados por estos eventos. Los tsunamis de origen cercano son aquellos cuyos focos generadores se localizan próximos a la línea de costa y pueden llegar a causar graves daños, mientras que los generados en regiones lejanas del Pacífico, no han causado un gran impacto significativo en el borde costero nacional.

En la costa chilena existe una elevada amenaza de tsunamis que ha afectado, históricamente, a la Región del Biobío. Entre los tsunamis históricos que afectaron a la región, destacan los ocurridos en los años 1570, 1657, 1730, 1751 y 1835 por su capacidad destructora (Lomnitz, 2004). En época reciente, los tsunamis más devastadores tuvieron lugar el año 1960 como resultado del mega terremoto (9,5 Mw) ocurrido el 22 de mayo con epicentro en la ciudad de Valdivia, ~340 km al sur de la ciudad de Concepción (Jaque et al., 2017) y el del 27 de febrero de 2010, producto del sismo de magnitud 8,8 Mw, cuya área de ruptura de ~500 km se extendió entre los 34°S hasta los 38,5°S (Moreno et al., 2012). Para el caso del tsunami de 1960, el mayor daño se produjo al sur de la Península de Arauco, por su exposición directa al frente de ondas, mientras que en el Golfo de Arauco y las bahías de Concepción y San Vicente el impacto fue, en general menor (Jaque et al., 2017). Por su parte, el evento de tsunami de 2010 se manifestó de manera variable en la Región del Biobío, existiendo zonas donde no fue sensible y otras donde fue extremadamente destructivo, por ejemplo, en las localidades de Dichato, Talcahuano, Llico y Tubul (Fritz et al., 2011).

Considerando la alta recurrencia histórica que Chile presenta ante la amenaza de tsunami, sumado al conocimiento de los ciclos sísmicos y su relación con el daño esperado (Martínez y Aranguiz, 2016), resulta relevante la estimación de

este riesgo potencial, al momento de considerar el continuo crecimiento urbano y rural de localidades costeras, donde la tendencia a urbanizar zonas muy próximas al mar, se caracteriza por su escasa planificación y ordenamiento objetivo en función de tal amenaza (Lagos, 2000).

En el caso de la amenaza, es factible determinar a través de modelamiento numérico, el comportamiento hidrodinámico del tsunami y su impacto en zonas costeras, además de la determinación de los niveles máximos de inundación esperados para eventos extremos de campo cercano, información que es fundamental desde el punto de vista de la planificación territorial, manejo de las áreas potencialmente amenazadas y para la elaboración de los planes de emergencia en los principales centros portuarios y urbanos costeros del país. En este sentido, la planificación para la resiliencia se puede entender como una manera viable de integrar el conocimiento de las amenazas del lugar, las condiciones de vulnerabilidad y exposición, en conjunto con la planificación territorial que considere el impacto de futuros desastres en la costa y de este modo establece medidas de reducción y mitigación del riesgo para que el sistema social y urbano pueda seguir funcionando (Martínez y Aranguiz, 2016).

En el ámbito de la prevención y mitigación del impacto de los tsunamis, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) desde el año 1997 elabora las Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU) para la costa de Chile, herramientas que permiten definir los niveles de inundación máximos esperados para las principales zonas urbanas y portuarias del borde costero de Chile, ante la ocurrencia de eventos sísmicos tsunamigénicos de campo cercano. Dentro de este contexto, el presente trabajo da cuenta a partir de un caso de estudio, para la ciudad de Coronel, el uso de la CITSU con el propósito de analizar el grado de exposición por amenaza de tsunami e interrelacionar dicha capa mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) con coberturas de datos territoriales, permitiendo la producción de mapas temáticos que posibiliten identificar y visualizar las áreas geográficas más críticas y de este modo poder contribuir con herramientas de apoyo para la implementación de acciones de planificación urbana, prevención y mitigación frente a un potencial tsunami.

ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Coronel se encuentra en el borde costero entre el océano Pacífico y la cordillera de la Costa en la zona centro sur de Chile, además posee el territorio insular de la isla Santa María. El relieve general de la comuna lo conforman dos franjas diferentes: a) la franja costera, adosada en la parte poniente de la cordillera de Nahuelbuta y b) el marco montañoso de la cordillera. La franja costera tiene una longitud media de unos 18 km. Dos componentes del relieve se perciben con claridad, una llanura baja de altitud media de 7 a 8 msnm. y planos altos o mesetas, entre 60 a 200 metros de altitud, en las laderas occidentales de la cordillera (I. Municipalidad Coronel, 2012).

La planicie costera o planicie litoral es la unidad fisiográfica con mayor superficie dentro del área de estudio, y se extiende hasta 7,2 km al interior del continente en Coronel. Su altura fluctúa entre 0 y 8 msnm. y fue formada a expensas de la progradación de bermas sucesivas de playas asociadas a procesos de transgresión marina ocurridos durante el Holoceno (Martínez et al., 2016).

Coronel, corresponde a una comuna costera, perteneciente administrativamente a la Región del Biobío, distante aproximadamente 28 km al suroeste de la capital regional, Concepción (Figura 1). Posee una superficie cercana a 280 km². Al norte, limita con la comuna de San Pedro de la Paz, al sur con la comuna de Lota y al oriente con las comunas de Hualqui y Chiguayante. Gran parte de la zona urbana se encuentra en un terreno llano, siendo esta la parte norte del territorio; en la zona sur (Coronel Centro) la población se ubica entre cerros. Dentro de la comuna se encuentran dos lagunas: Quiñenco y La Posada, además del Humedal Boca Maule y los esteros La Posada, Lagunillas, Maule y Manco. En la zona este de la comuna, entre los cerros y valles cercanos al río Biobío se encuentran zonas rurales.

Funcionalmente Coronel es una ciudad lineal, crece hacia el norte y el desarrollo de centros poblados, sitios comerciales y parques industriales se ubican cercanos a sus dos calles principales, fusionándose estas en los extremos norte y sur de la comuna en la ruta 160 (Molina, 2017). En las últimas décadas se ha visto un explosivo aumento en la construcción de viviendas en la zona norte de la comuna, frecuentemente buscando la

cercanía con la capital regional y entre las que se encuentran de norte a sur: Villa Italia, Villa Verde, Villa La Posada, Escuadrón, Lagunillas, Jorge Alessandri, Gabriela Mistral, Salvador Allende, O'Higgins, Pablo Neruda, La Peña y Villa Bicentenario (Figura 2). Por su parte, la red intercomunal de conectividad vial está conformada por la ruta 160 que fluye en sentido norte y sur por la costa y es la principal vía de acceso, por el oriente se encuentra la ruta 156 que conecta al norte con la 160 y al sur con la O-852, que a su vez conecta a la ciudad en sentido este a oeste.

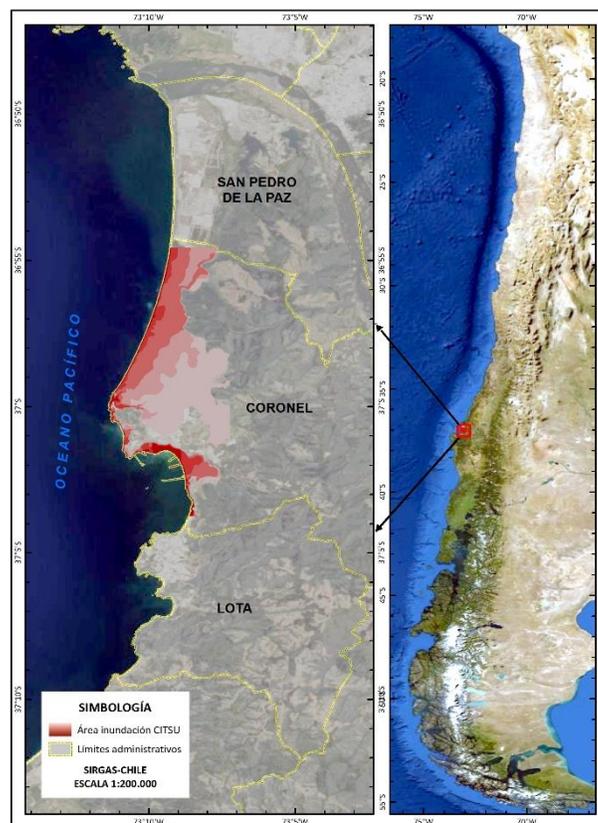


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, cabe destacar que Coronel es parte de un grupo de 11 comunas que conforman el Área Metropolitana de Concepción (AMC), que concentra una población de casi un millón de habitantes. En este sentido, Coronel aporta con el 11,8% respecto del total de población del AMC, lo cual la sitúa como una ciudad intermedia desde el punto de vista demográfico con una población de 116.262 habitantes y la quinta comuna más poblada de la Región del Biobío. Su población es eminentemente urbana donde el 97,3% de ella se

emplaza dentro del límite urbano comunal, mientras que el 2,7% restante se desenvuelve en el medio rural. Igualmente, en relación a cantidad de viviendas, Coronel concentra el 11,6% del total del AMC, con 41.175 de ellas, de acuerdo a los datos del último censo (INE, 2017).



Figura 2. Principales centros poblados de la zona norte de Coronel. Fuente: Elaboración propia.

MATERIALES Y METODOS

Para la determinación de las áreas de inundación por tsunami en la localidad se consideraron los criterios propuestos en la Publicación SHOA N° 3204 "Especificaciones Técnicas para la Elaboración de Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU)", 2015. Dentro de este contexto, para efectuar la modelación numérica se utilizó el modelo COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model) desarrollado por la Universidad de Cornell (Wang y Power, 2011) el cual está basado en las ecuaciones de aguas someras (SWE). Se emplearon 4 mallas anidadas de 120", 30", 6" y 1" seg de resolución espacial, las cuales se construyeron a partir de datos GEBCO, Cartas Náuticas y levantamientos batimétricos efectuados por el SHOA, además topografía ASTER GDEM y

restitución fotogramétrica elaborada a partir de imágenes satelitales GEOEYES-1 y PLEIADES de 0.5 m de resolución obtenidas durante los años 2019 y 2021, respectivamente. Las mallas de mayor resolución utilizadas se muestran en la Figura 3.

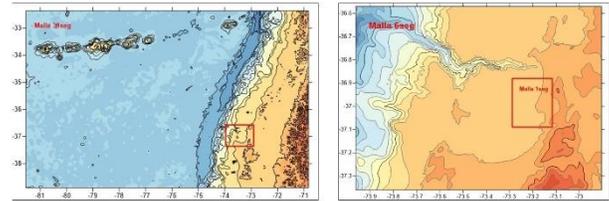


Figura 3. Mallas de mayor resolución utilizadas en la simulación numérica. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, para construir la condición inicial del tsunami se consideró un evento extremo probable (Mw 9,0), tomando en cuenta la información histórica publicada, las características sismotectónicas de la zona centro sur de Chile y los antecedentes científicos disponibles, por lo que se determinó una ruptura tipo multifalla de acuerdo a lo propuesto por Riquelme y Mocanu (2013).

A partir de los resultados del modelamiento numérico, se elaboró una "Carta de Inundación por Tsunami" para la comuna de Coronel utilizando el software ArcGIS, mediante el cual se definieron los diferentes niveles de profundidad de inundación máxima categorizados en cinco rangos.

De la misma forma, en base a los resultados de la simulación numérica se obtuvieron las isócronas de tiempos de arribo de las ondas de tsunami al área de estudio y se graficaron cada 5 min hasta los 30 min y posteriormente cada 1 hr hasta el término del tiempo simulado de 5 hr.

Para la elaboración de la cartografía de exposición, se utilizó la unidad de manzanas censales del año 2017, en formato vectorial y la base de datos asociada al censo de población y vivienda del mismo año (INE, 2017). Esta cartografía se desarrolló bajo la premisa que la exposición es la disposición sobre el territorio de un conjunto de bienes a preservar que pueden ser dañados por una amenaza natural (UNISDR, 2004), incorporando en este concepto a las personas que habitan la zona amenazada. Adicionalmente, se utilizó la información publicada en el marco normativo, proveniente del Plan Regulador Comunal (PRC) de Coronel del año 2013, y también se consideraron los antecedentes

de infraestructura de servicios esenciales como establecimientos de salud, educación y centros comerciales, entre otros, desde el Visor GRD de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), cuya información es dinámica y está en constante actualización (<https://www.onemi.gov.cl/visor-chile-preparado/>).

Para clasificar las zonas según los tipos de variables territoriales consideradas en virtud de la amenaza estimada, se reclasificó y representó la información como capas de información temática, mediante superposición y de este modo se identificaron las áreas de mayor exposición al riesgo.

RESULTADOS

De acuerdo a las coberturas de manzanas y distritos censales del INE (2017), el total de población considerada para el área de estudio es de 110.341 habitantes. De la misma forma, siguiendo esta lógica, el total de viviendas comprometidas es de 38.821, en ambos casos para un total de 1.379 manzanas consideradas (Tabla 1). Esta información, se ha representado en las Figuras 4 y 5, con su respectiva capa temática donde los datos de población y vivienda se reclasificaron por rangos para facilitar la visualización de los sectores con menor a mayor concentración.

Tabla 1. Población y vivienda por distrito censal utilizado para el área de estudio. Fuente: INE, 2017.

POBLACIÓN Y VIVIENDAS POR DISTRITO CENSAL			
Distrito	Personas	Viviendas	Manzanas
Municipalidad	2.881	1.101	69
Villa Mora	16.726	5.848	197
Schwager	12.828	4.587	212
Buen Retiro	14.945	5.312	246
El Calabozo	77	25	3
Corcovado	7.853	2.830	85
Escuadrón	55.031	1.9118	567
Total	110.341	38.821	1.379

En términos generales la superficie afectada por la inundación de tsunami ocupa un área de 42,2 km², 97.472 personas, 34.191 viviendas y 1.206 manzanas expuestas a esta amenaza.

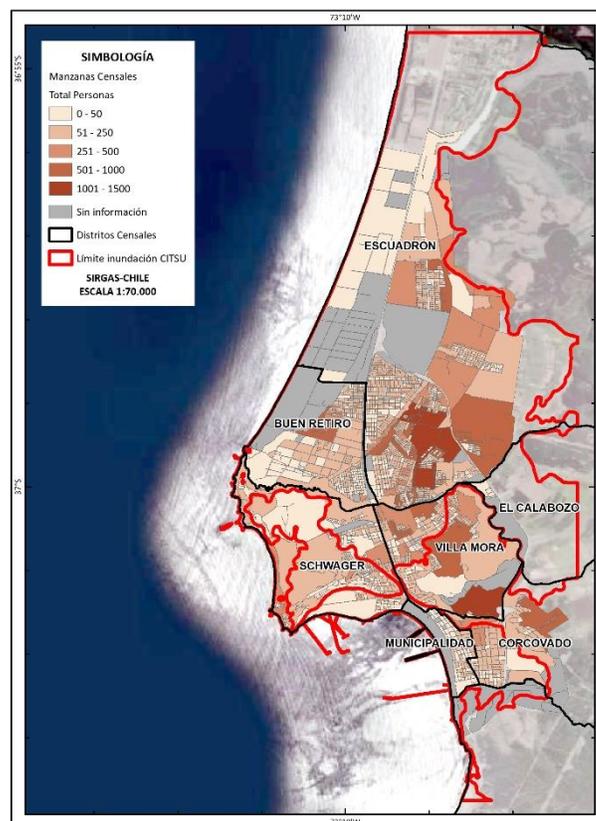


Figura 4. Concentración de personas por manzana de acuerdo a INE (2017). Fuente: Elaboración propia.

El distrito Escuadrón es el que tiene mayor población expuesta a la inundación por tsunami con un porcentaje del 49,9% respecto del total de los distritos considerados; luego el distrito de Buen Retiro con un 13,5%, seguido de Villa Mora y Schwager, con un 9,3% y 8,5%, respectivamente (Tabla 2). Con menores porcentajes de población expuesta a tsunami están los distritos de Corcovado (4,4%), Municipalidad (2,6%) y El Calabozo (0,1%).

Tabla 2. Porcentaje de población y viviendas afectadas por la inundación de tsunami por distrito censal. Fuente: Elaboración propia.

PORCENTAJE DE POBLACIÓN Y VIVIENDAS AFECTADA POR INUNDACIÓN DE TSUNAMI			
Distrito	Personas	Viviendas	Manzanas
Municipalidad	2,6	2,8	5,0
Villa Mora	9,3	9,2	8,3
Schwager	8,5	8,5	10,5
Buen Retiro	13,5	13,7	17,8
El Calabozo	0,1	0,1	0,2
Corcovado	4,4	4,6	4,4

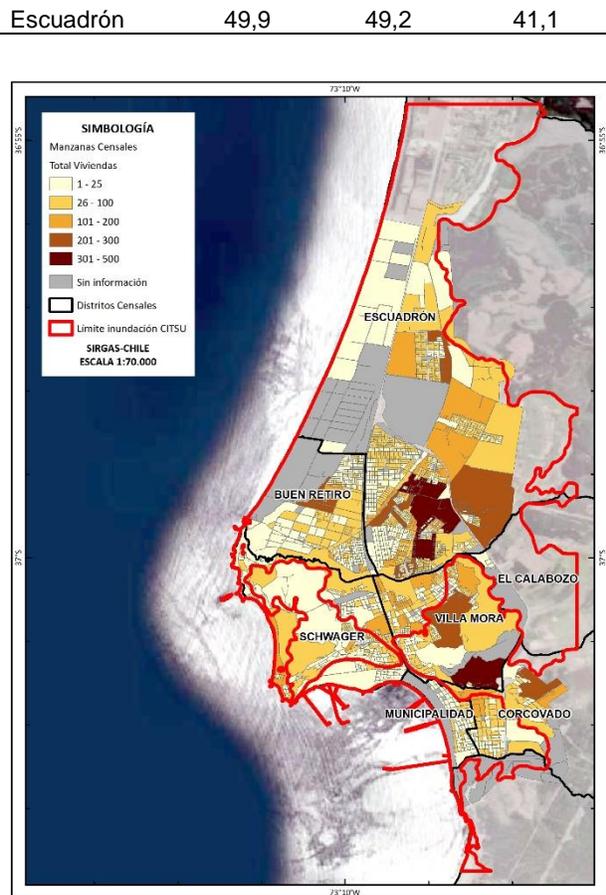


Figura 5. Concentración de viviendas por manzana de acuerdo con INE (2017). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se muestran las isocronas de tiempos de arribo del tsunami en relación a la concentración de población para las manzanas con algún nivel de inundación. Se puede apreciar que hasta el minuto 20 desde generado el tsunami, el área de afectación es mínima y la distribución espacial de esta isolínea es prácticamente pegada a la línea de costa. Sin embargo, solo cinco minutos después, el área cubierta por el tsunami aumenta considerablemente, siendo parte del distrito Escuadrón el mayormente afectado, seguido del distrito Buen Retiro, dentro de los cuales se encuentran sectores residenciales como Villa Verde, Villa La Posada, Lagunillas, Gabriela mistral y Jorge Alessandri. A los 30 minutos ya se observa que prácticamente la totalidad del distrito Escuadrón se encuentra inundado, al igual que el de Buen Retiro y parte del distrito Municipalidad, siendo impactadas una alta cantidad de población (~61%) y viviendas (~60%).

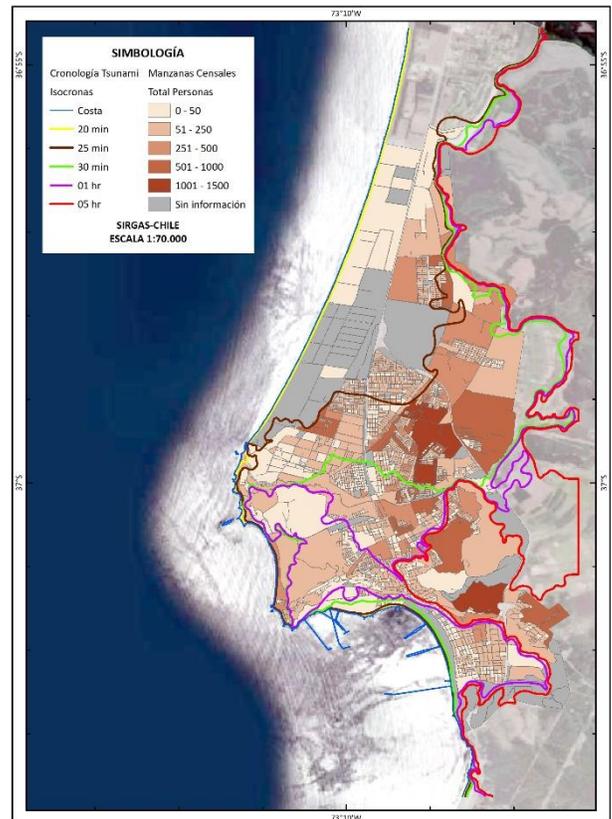


Figura 6. Isocronas de tiempos de arribo en relación a la concentración de población por manzana de acuerdo a INE (2017). Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, una hora después del origen del tsunami, el área inundada se extiende además por parte de los distritos de Schwager, Villa Mora, El Calabozo y Corcovado, mientras que para las cinco horas simuladas la inundación se incrementa significativamente solo en el distrito El Calabozo. Nótese que, de los siete distritos censales comprometidos, solo tres de ellos Villa Mora, Schwager y Corcovado son alcanzados parcialmente por el tsunami. En términos de niveles máximos de profundidad de inundación, en la Figura 7 se observa que los distritos que presentan los mayores rangos (>2 m) son Escuadrón, Buen Retiro, Schwager y Municipalidad. Dentro de este contexto, en el sector norte de Escuadrón, el nivel de profundidad de inundación en el rango de 2 – 4 m tiene una extensión de ~ 1,6 km desde la línea de costa y afecta a los sectores poblados de Villa Verde y Villa La Posada.

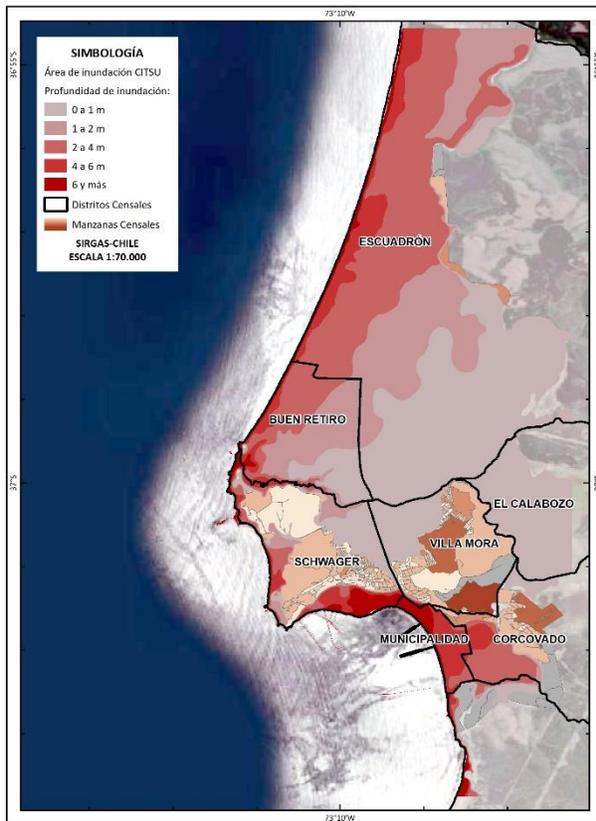


Figura 7. Carta de Inundación de Coronel sobre las Manzanas y Distritos Censales de INE (2017). Fuente: Elaboración propia.

Por su parte en el área sur del distrito de Schwager, los sectores de Puchoco y Lo Rojas muestran el máximo nivel de profundidad de inundación estimado (>6 m), mientras que en el de Municipalidad, parte del centro cívico de Coronel se ve afectado por niveles dentro del rango de los 4 – 6 m y 2 - 4 m. Este último nivel se extiende ~ 1,7 km alcanzando incluso buena parte del distrito de Corcovado. Adicionalmente, los niveles de profundidad de inundación que presentan una mayor extensión son los de 1 – 2 m y 0 – 1 m, los que afectan principalmente a gran parte del sector norte de Coronel (Escuadrón y Buen Retiro). De los centros poblados que se encuentran dentro de estos rangos están Villa Escuadrón, Lagunillas, Jorge Alessandri, Gabriela Mistral, Villa Bicentenario, La Peña, O'Higgins y Camilo Olavarría.

La Figura 8 muestra la infraestructura de servicios contenidos en el área de inundación de la CITSU, los cuales fueron obtenidos desde la plataforma web de información territorial (Visor GRD) que

compila y pone a disposición de los usuarios ONEMI. En ella se puede apreciar que existen 96 establecimientos educacionales (ed. Primaria, ed. Secundaria y ed. Superior), dentro del área de inundación, de los cuales al menos el 24% está dentro de los niveles de profundidad de inundación >2 m. De la misma forma, se observa que existe infraestructura crítica como cuarteles de Carabineros, Municipalidad de Coronel, Bomberos, establecimientos de salud, farmacias y estaciones de combustible que son afectados con profundidades de inundación mayores a 4 m, particularmente en los distritos de Municipalidad y Schwager. Adicionalmente, se destacan dos grandes centros comerciales que corresponden a supermercados con otros comercios asociados dentro de la zona inundable.

Otro elemento importante que se vería afectado ante un evento de tsunami como el representado por la CITSU, es la conectividad vial de acceso a Coronel, dado que una de las principales rutas de tránsito queda bajo la zona inundable (Figura 9).

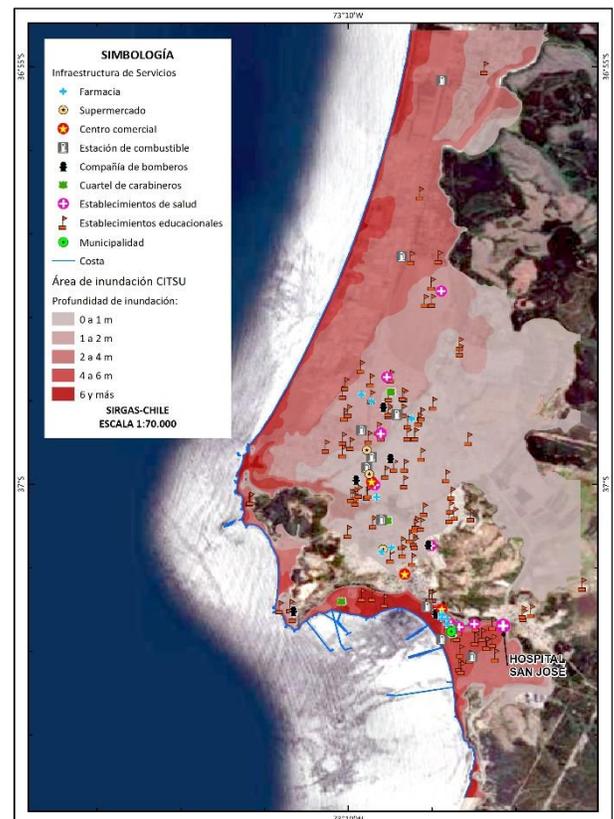


Figura 8. Infraestructura de servicios contenidos en el área de inundación de la CITSU. Fuente: Elaboración propia.

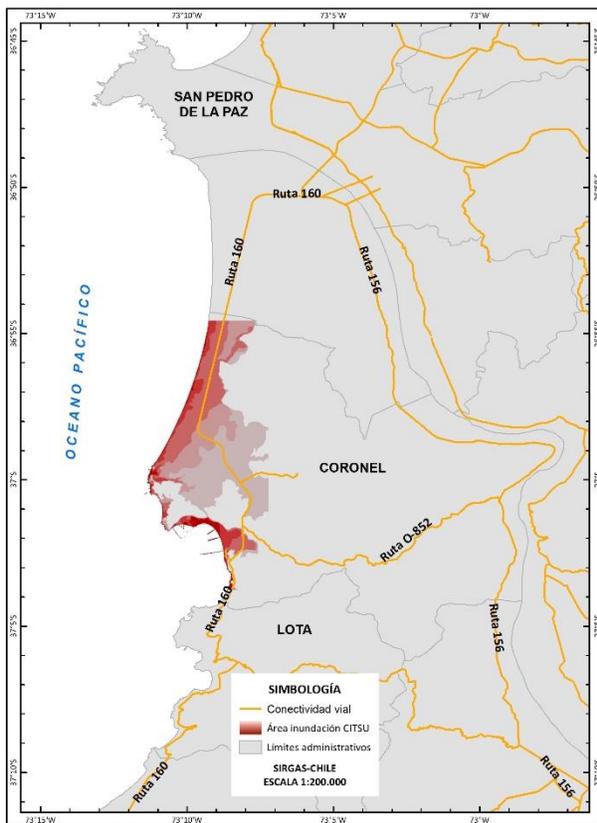


Figura 9. Principales vías de conectividad vial de Coronel. Fuente: Elaboración propia.

En el área norte de Coronel la ruta 160 se encuentra en la zona con profundidades de inundación de 2 – 4 m, al igual que en el distrito de Corcovado por el sur.

Desde otro punto de vista, para analizar el marco normativo que rige el uso de suelo urbano para la comuna de Coronel por medio de su PRC, se reagruparon las categorías definidas genéricamente por su uso, para simplificar la interpretación de la siguiente manera:

- Área Verde (AV)
- Zona Actividad Productiva (ZAP)
- Zona de Protección de Borde Costero (ZP)
- Zona de Equipamiento (ZE)
- Zona de Asentamiento Costero (ZAC)
- Zona Inundable por Desborde de Causas (ZRI)
- Zona con Riegos Generados por la Intervención Humana (ZRIH)
- Zona Turística de Borde Costero (ZTBC)
- Zona Terminal de Transporte Portuario (ZTTP)
- Zona Residencial (ZU)
- Zona Centro Cívico - Zona Conservación Histórica
- Zona Típica (ZCC-ZCH-ZT)

Esta información se presenta en la Figura 10, en conjunto con los niveles de profundidad de inundación de la CITSU con tramado diagonal e intercalado con sentido opuesto, donde se observa que no hay un área definida que considere algún tipo de resguardo o restricción por tsunami.

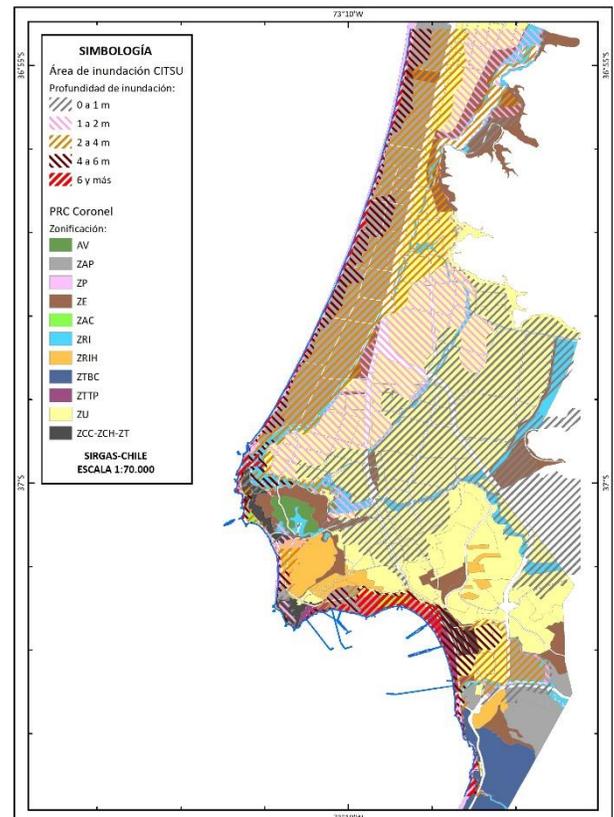


Figura 10. Área de inundación de la CITSU respecto a la Zonificación del PRC de Coronel. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cabe mencionar que las rutas de evacuación y puntos de encuentro, son parte de la información territorial asociada a la amenaza de tsunami contenida en el Visor GRD y que es administrada por ONEMI. Para su determinación ONEMI lo realiza en conjunto con cada municipio involucrado. En este sentido, para el caso de Coronel, la información existente y que se presenta en la Figura 11, muestra que la comuna posee rutas de evacuación definidas, pero aún no se encuentran disponibles los puntos de encuentro que eventualmente puedan propiciar que la población se agrupe en lugares específicos de resguardo.

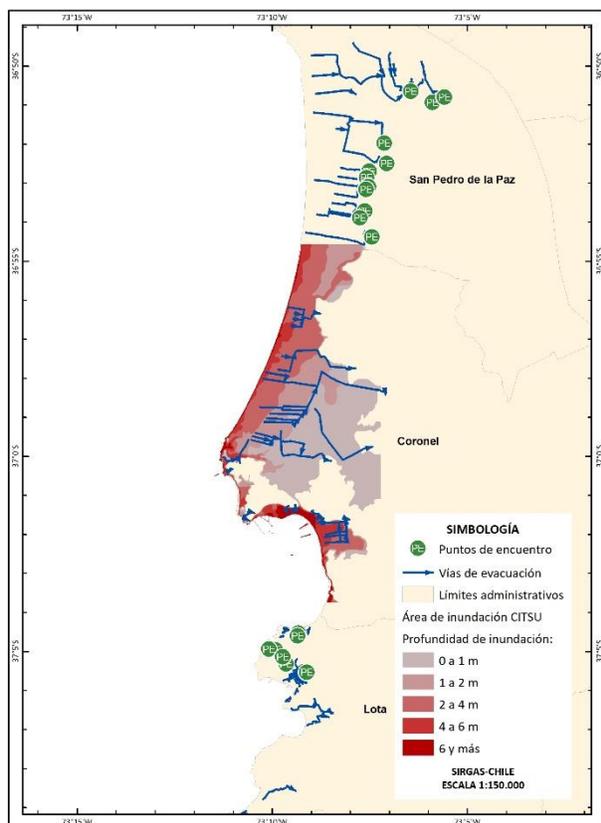


Figura 11. Vías de evacuación y puntos de encuentro (Visor GRD, ONEMI). Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Del análisis de superposición de capas de información geográfica, se puede ver que la comuna costera de Coronel se encuentra altamente expuesta ante la amenaza de tsunami, con una superficie afectada de 42,2 km², que incluye casi un 88% de población y viviendas, emplazadas dentro de la zona urbana. Los distritos más expuestos son Escuadrón, Buen Retiro, Schwager y Municipalidad con profundidades de inundación >2 m. Dentro de dichos distritos existen importantes sectores poblados como Villa Verde, Villa La Posada, Lo Rojas y centro cívico de Coronel.

Adicionalmente, la infraestructura de servicios analizada, se encuentra prácticamente en su totalidad afectada por el tsunami modelado en la CITSU, solo quedando fuera del área inundada un centro comercial y cuatro establecimientos educacionales. Desde el punto de vista de la gestión territorial, es imperativo considerar la variable riesgo de tsunami en los instrumentos de planificación territorial. En este sentido es

necesario que en una futura actualización del PRC de Coronel, se incorpore la información respecto de áreas inundables en su zonificación. De este mismo modo, del análisis efectuado se pudo ver que Coronel no dispone de puntos de encuentro definidos, lo que es relevante en la elaboración de los instrumentos de planificación ante una emergencia de tsunamis. Al respecto, de acuerdo a la información del PRC se sugiere considerar el sector del parque comunal que queda fuera del área inundable de acuerdo a la CITSU de Coronel vigente. Dentro de este contexto, se estima pertinente efectuar un análisis de estrategias de evacuación, que considere eventualmente la construcción de estructuras que permitan mantener a la población a resguardo y la instalación de señalética adecuada.

Identificar las poblaciones, infraestructura y vías de conectividad, entre otros elementos, que serían más afectados en caso de la ocurrencia de algún fenómeno natural que genere una amenaza, contribuye para desarrollar una diligente gestión del riesgo, debido a que es factible tener una visión territorial compacta de las características de las zonas expuestas. Este hecho, permitiría implementar tanto medidas preventivas como acciones estructurales y de ordenamiento del territorio, disminuyendo la vulnerabilidad ante el riesgo.

REFERENCIAS

FRITZ, H. M., PETROFF, C. M., CATALÁN, P. A., CIENFUEGOS, R., WINCKLER, P., KALLIGERIS, N., Y SYNOLAKIS, C. E. "Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami". Pure and Applied Geophysics, vol 168 no 11, 2016, 1989-2010 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). "Censo de población y vivienda, cuadros estadísticos". 2017. Disponible en: <https://www.ine.cl/>.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE CORONEL. "Memoria explicativa Plan Regulador Comunal de Coronel". Plan Verde Coronel 2050. Municipalidad de Coronel, 2012. 179 pp.

JAQUE, E., HORACIO, J., CÓRDOBA, V., y QUEZADA, J. "Percepción de la vulnerabilidad global ante tsunami en el borde costero de Chile central". Semata: Ciencias Sociales e Humanidades, vol 29, 2017, 39-65 pp.

- LAGOS, M. "Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile". *Revista de Geografía Norte Grande*, vol 27, 2000, 93-102 pp.
- LOMNITZ, C. "Major Earthquakes of Chile: A Historical Survey, 1535-1960". *Seismological Research Letters*, vol 75, 2004. 368-378 pp.
- MARTÍNEZ, C., ROJAS, O., ARÁNGUIZ, R., BELMONTE, A., ALTAMIRANO, Á., y FLORES, P. (2012). "Riesgo de tsunami en caleta Tubul, Región del Biobío: escenarios extremos y transformaciones territoriales post terremoto". *Revista de Geografía Norte Grande*, vol 53, 2012, 85-106 pp.
- MARTÍNEZ, C., y ARÁNGUIZ, R. "Riesgo de tsunami y planificación resiliente de la costa chilena: La localidad de Boca Sur, San Pedro de la Paz (37° S)". *Revista de Geografía Norte Grande*, vol 64, 2016, 33-54 pp.
- MARTÍNEZ, C., ROJAS, C., ROJAS, O., QUEZADA, J., LÓPEZ, P., y RUIZ, V. "Crecimiento urbano sobre geformas costeras de la llanura de San Pedro, Área Metropolitana de Concepción". En *las Costas del Neoliberalismo. Naturaleza, Urbanización y Producción inmobiliaria*, 2016, 287-312 pp.
- MOLINA JIMÉNEZ, P. A. "Estudio Geológico Estructural en el área carbonífera de Coronel VIII Región del Biobío". Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Concepción, Chile. 2017, 98 pp.
- MORENO, M., MELNICK, D., ROSENAU, M., BAEZ, J., KLOTZ, J., ONCKEN, O., TASSARA, A., CHEN, J., BATAILLE, K., BEVIS, M., SOCQUET, A., VIGNY, C., BROOKS, B., RYDER, I., GRUND, V., SMALLEY, B., CARRIZO, D., BARTSCH, M. Y HASE, H. "Toward understanding tectonic control on the M_w 8,8 2010 Maule Chile earthquake". *Earth and Planetary Science Letters*, vol 321-322, 2012, 152-165 pp.
- RIQUELME S., y MOCANU M. "Informe técnico: Base de datos de fuentes tsunamigénicas para Chile". Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. 2013, 35 pp.
- SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA. "Instrucciones Oceanográficas N°4: Especificaciones técnicas para la elaboración de Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU)". Pub. SHOA 3204, 2015, 39 pp.
- UNISDR, E. "Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres". Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 2009.
- WANG, X., y POWER, P. "COMCOT: A Tsunami Generation Propagation and Run-up Model". GNS Science Report 2011/43, 2011, 129 pp.