

RIESGO DE TSUNAMI EN LA PROVINCIA DE SAN ANTONIO, VALPARAÍSO, CHILE: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Simón Inzunza ^{1*}, Carolina Martínez ¹ y Nikole Guerrero ¹

1. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastre (CIGIDEN), Santiago, Chile.

*Autor de correspondencia: simon.inzunza@cigiden.cl

RESUMEN

La provincia de San Antonio, Chile, es altamente susceptible al riesgo de tsunami y sus Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) no poseen áreas de riesgo. De paso, en Chile, la reducción del riesgo mediante la planificación territorial es limitada por la falta de metodologías estandarizadas para zonificar riesgo y el enfoque exclusivo en la amenaza, dificultando la implementación de medidas efectivas. Ante esto, se propuso una metodología que combina amenaza y vulnerabilidad con datos de acceso público, utilizando el método SoVI ajustado con infraestructura crítica y Sistemas de Información Geográfica para integrar los componentes. Esto permitió zonificar el riesgo en tres niveles a nivel de manzana censal. La metodología se alinea con la nueva guía del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2024), que introduce estándares para cuantificar el riesgo en los IPT mediante matrices integradas según niveles de amenaza y vulnerabilidad. Los resultados muestran que 16433 habitantes están expuestos ante tsunami en la provincia, de los cuales, 46% presenta riesgo alto, sobresaliendo la comuna de Cartagena (mayor cantidad de manzanas y población con vulnerabilidad y riesgo alto). Este enfoque representa una oportunidad clave para reducir la exposición y vulnerabilidad en la provincia, estableciendo un modelo replicable para otras zonas costeras.

PALABRAS CLAVES

Planificación territorial; Metodología; Riesgo de tsunami; Chile

TSUNAMI RISK IN THE SAN ANTONIO PROVINCE, VALPARAÍSO, CHILE: TOWARDS RESILIENT TERRITORIAL PLANNING ON THE COAST

ABSTRACT

The province of San Antonio, Chile, is highly susceptible to tsunami risk and its Territorial Planning Instruments (TPIs) lack designated risk areas. Furthermore, in Chile, risk reduction through territorial planning is limited by the absence of standardized methodologies for risk zoning and the exclusive focus on hazards, hindering the implementation of effective measures. In response to this, a methodology was proposed that combines hazards and vulnerability using publicly available data, employing the SoVI method adjusted with critical infrastructure and Geographic Information Systems to integrate the components. This allowed for risk zoning in three levels at the census block level. The methodology aligns with the new guidelines from the Ministry of Housing and Urbanism, which introduce standards for quantifying risk in the TPIs through integrated matrices based on levels of hazard and vulnerability. The results show that 16,433 inhabitants are exposed to tsunami risk in the province, of which 46% face high risk, with the commune of Cartagena standing out (having the highest number of census blocks and population with high vulnerability and risk). This approach represents a key opportunity to reduce exposure and vulnerability in the province, establishing a replicable model for other coastal areas.

KEYWORDS

Territorial planning; Methodology; Tsunami risk; Chile

DOI:
<https://doi.org/10.55467/reder.v9i2.202>

RECIBIDO

16 de septiembre de 2024

ACEPTADO

15 de abril de 2024

PUBLICADO

1 de julio de 2025

Formato cita

Recomendada (APA):

Inzunza, S., Martínez, C. & Guerrero, N. (2025). Riesgo de tsunami en la Provincia de San Antonio, Valparaíso, Chile: Propuesta metodológica para la planificación territorial. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 9(2), 185-204. <https://doi.org/10.55467/reder.v9i2.202>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

INTRODUCCIÓN

El riesgo de desastre es la probabilidad de daños y pérdidas sociales y económicas debido a la ocurrencia de una amenaza natural y la medida en que las personas y las edificaciones son susceptibles a ellas, componente denominado vulnerabilidad (Inzunza y Martínez, 2024), el que depende, entre otros, de una dimensión física (materialidad y localización de viviendas), económica (empleo e ingresos), educativa, social (demografía), comunitaria (autogestión de la comunidad), Institucional (capacidad de las Instituciones para reducir el riesgo), ambiental y cultural (percepción del riesgo) (Rojas y Martínez, 2011).

En el caso de Chile destaca al riesgo ante sismos y tsunamis, donde, para este último, incluso se han presentado los eventos más mortíferos para esta tipología de amenaza en los últimos 30 años dentro de Sudamérica (Sandoval et al., 2021).

La ubicación de Chile a lo largo de la zona de subducción entre la placa de Nazca bajo la Sudamericana (convergencia de 66 mm/año), lo convierte en un país altamente expuesto a sismos concentrando más del 25% de la energía liberada en forma sísmica en todo el mundo (Aránguiz y Catalán, 2022). Estos eventos sísmicos interplaca son los más frecuentes en el país, destacando, además, su capacidad de generar alzamientos/hundimientos costeros y principalmente tsunamis (Ruiz y Madariaga, 2012), los cuales se generan debido al área de ruptura y deformación de la corteza terrestre submarina por la liberación abrupta de energía, produciendo ondas y perturbando la columna de agua localizada en la superficie superior a esta ruptura (Aránguiz et al., 2019).

En tal sentido, en los últimos 500 años se han generado más de 36 terremotos destructivos en Chile, de los cuales 25 de ellos generaron tsunamis, presentándose, en la última década, tres sismos de magnitud superior a Mw 8,0 acompañados de tsunamis, destacando Maule (2010), Pisagua (2014) e Illapel (2015) (Aránguiz y Catalán, 2022).

Sobre este punto, el riesgo de desastre ante tsunami toma preponderancia debido a la creciente urbanización en áreas expuestas por la actividad inmobiliaria (Villagrán y Soto, 2024), el aumento acelerado de ocupaciones irregulares tras la pandemia por COVID-19 (Zenteno et al., 2022), la degradación de ecosistemas de costeros (Martínez et al., 2020), condiciones críticas de vulnerabilidad social, así como el aumento exponencial de población flotante durante época estival (Carraro et al., 2021). Para graficar lo anterior, en el desastre del 27 de febrero del 2010 en la zona centro-sur de Chile, el tsunami produjo un tercio de las víctimas fatales, así como millonarias pérdidas por daños en viviendas, industrias e infraestructura (Contreras y Winckler, 2013).

Planificación territorial y reducción del riesgo de desastre ante tsunami

Considerando la creciente exposición y vulnerabilidad en los entornos urbanos, se reconoce que la planificación territorial es una valiosa herramienta para la reducción del riesgo de desastre ante eventos extremos y la adaptación al cambio climático (Agnelli et al., 2022), entendiéndose como un instrumento para analizar y gestionar el desarrollo y expansión de un determinado territorio, mediante la regulación de su uso, ocupación y transformación (Márquez y Veloso, 2021).

La principal relación entre planificación territorial y reducción del riesgo de desastre es que, mediante la identificación de las áreas con mayores posibilidades de daños y pérdidas en personas e infraestructura, se pueden aplicar normativas de uso de suelo y otras medidas que garanticen la seguridad de las personas y la infraestructura expuesta (Greiving et al., 2021). Para lograr lo anterior, es clave considerar los planes de zonificación basados en mapas de amenaza dentro de la planificación territorial, pues permiten conocer las áreas y poblaciones que serían más afectadas por la ocurrencia de un eventual desastre (Brumarová et al., 2020).

De esta manera, la planificación territorial para reducir el riesgo ante tsunami debe apuntar a que los asentamientos puedan adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos y mantener sus funciones, es decir, promover su resiliencia, por lo cual se debe considerar la dimensión social, natural y construida para configurar acciones (Rodríguez, 2017). Esto, además, mejora la gobernanza, la coordinación institucional y la participación ciudadana, ayudando a enfocar las estrategias de reducción del riesgo (Shao et al., 2023). Entre estas medidas, destaca la prohibición de construcción en zonas altamente expuestas, zonas de amortiguamiento natural para mitigar las inundaciones, limitar las densidades y alturas de las edificaciones, educación, además de promover espacios abiertos para la evacuación (Dandoulaki et al., 2023).

Planificación Territorial para la reducción del riesgo ante tsunami en Chile

En Chile existen diversos Instrumentos de ordenamiento y Planificación Territorial (IPT) de carácter normativo e indicativo, sobresaliendo, en primera instancia los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT) que establecen una macro-zonificación indicativa del territorio Regional -incluido riesgo-, coherente con la Estrategia Regional de Desarrollo (Vicuña y Schuster, 2021), así como la Zonificación de Uso de Borde Costero -ZUBC- que define actividades y usos preferentes en esa franja, de acuerdo a criterios de compatibilidad acordados participativamente. PROT y ZUBC deben estar integrados (Peña et al., 2022).

Por otro lado, a nivel urbano destacan los Planes Reguladores Comunes (PRC) y Planes Reguladores Intercomunales (PRI), que son los instrumentos a los que apunta este estudio. En relación a los PRC, estos corresponden a instrumentos normativos que determinan las condiciones que deben cumplir edificaciones y espacios públicos, además de establecer usos de suelo en áreas urbanas (Moris et al, 2017). Respecto a los PRI, estos instrumentos regulan el desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales de comunas que, por sus relaciones, integran una unidad urbana (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, D.S. N° 47, 2024). Los PRC pueden precisar, pero no contradecir, las disposiciones PRI (Vicuña y Schuster, 2021).

Estos instrumentos están regulados por las normas vigentes establecidas en la Ley General de Urbanismo y Construcciones junto con su Ordenanza (LGUC y OGUC, respectivamente). En el artículo 2.1.17 de la OGUC se establece que en los planes reguladores pueden definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos, destacando las áreas de riesgos, las cuales corresponden a “territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limita determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos”. Una de las características para determinar áreas de riesgo, es que las zonas sean potencialmente inundables por tsunamis (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, D.S. N° 47, 2024).

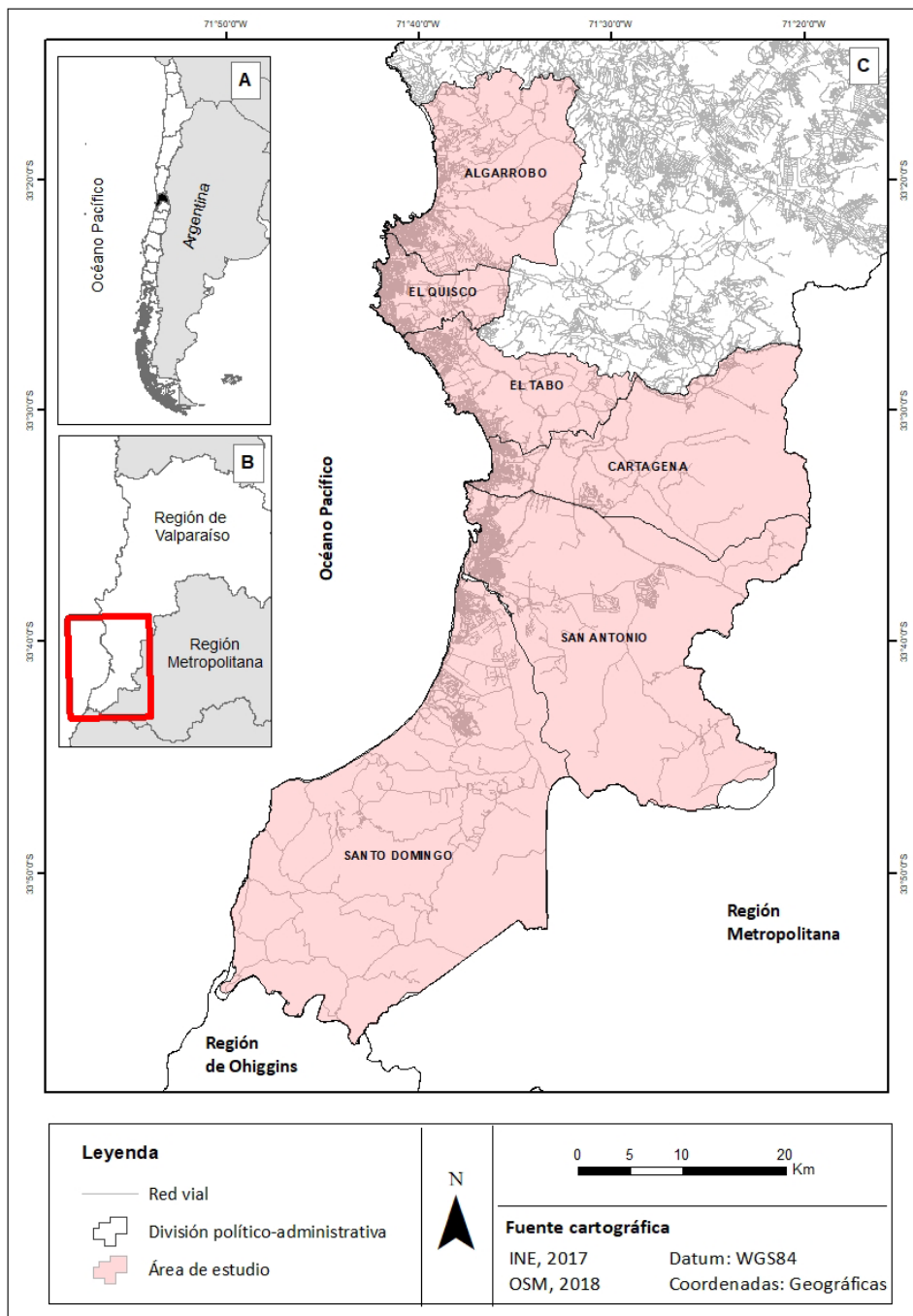
Pese a ello, existen limitaciones e imprecisiones respecto a la aplicación del artículo 2.1.17 de la OGUC en los IPT, entre ellos, la ausencia de metodologías estandarizadas para evaluar riesgo en los estudios de riesgo de los IPT (Moris, 2017; Vicuña y Schuster, 2021), y que se asocia el concepto de amenaza a riesgo, por lo que finalmente las áreas de riesgo corresponden a zonificaciones de amenazas, excluyendo la vulnerabilidad y exposición (Geoffroy y Ciocca, 2023). Además, se sostiene que el riesgo por tsunami está escasamente incorporado en los IPT, pues son excesivamente laxos en restringir densidades de ocupación en áreas altamente expuestas y también permiten el emplazamiento de infraestructura crítica en estas zonas (Vicuña y León, 2022). Así, la reducción del riesgo ante tsunami aún no se integra sistemáticamente en la planificación territorial.

En este contexto, el objetivo general de la investigación es evaluar el riesgo de tsunami en una provincia costera de Chile mediante una propuesta metodológica que integra amenaza y vulnerabilidad, considerando, para ello, que el tsunami es una característica para establecer área de riesgo según la OGUC y que aún no se integra vulnerabilidad en las metodologías de los estudios de riesgo de los IPT. La hipótesis es que el método propuesto posibilitará diferenciar niveles de riesgo según los componentes incorporados, identificando las áreas que serían más afectadas por la ocurrencia de un tsunami para aplicar normativas de uso de suelo y otras acciones para reducir el riesgo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área analizada corresponde a la Provincia de San Antonio, ubicada al suroeste de la Región de Valparaíso, Chile, que es integrada por las comunas de Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio y Santo Domingo, las cuales, en total, poseen 144,480 habitantes según el Censo de 2017 (Figura 1). La provincia es una zona costera que se caracteriza fundamentalmente por el desarrollo de actividades portuarias, turismo y la provisión de servicios terciarios (Martínez et al., 2022).



El área ha experimentado intensos procesos de urbanización en las últimas décadas, lo que se explica por procesos de metropolización debido a la cercanía a Santiago, así como la construcción de segundas viviendas, lo que ha desencadenado un aumento de habitantes en el Litoral Central, la presencia cada vez más relevante de población adulta mayor e intensos flujos turísticos durante el verano con aumento de población de más del 80% en la mayoría de las comunas del área (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2024), impactando la capacidad de carga de las localidades costeras y con ello, degradando el ambiente natural, social y cultural (Vecchio et al., 2022). De igual manera, ha existido un aumento de asentamientos informales y campamentos tras la pandemia, siendo la región con el mayor aumento del número de familias viviendo bajo esta condición (Techo, 2023). Se destaca, asimismo, que hay zonas con alta vulnerabilidad social (Vecchio et al., 2022).

Sobre la amenaza de terremotos y tsunamis, la provincia forma parte del segmento de Chile Central (30°-37,5°S) que registra la mayor cantidad de eventos sísmicos de magnitudes >8,0 Mw, existiendo terremotos tsunamigénicos de campo cercano en los años 1730, 1822, 1906 y 1985 (Inzunza y Martínez, 2024). De ellos, destaca el evento de 1730, el cual es considerado el peor escenario, con una magnitud Mw 9,1-9,3 y profundidad de inundación en torno a 9 metros según modelaciones (Martínez et al., 2020).

Así, el aumento de exposición, vulnerabilidad y la amenaza sismo-tsunami configuran una situación de riesgo en la zona (Martínez et al., 2022), lo que es crítico si se considera, por ejemplo, la ausencia de áreas de riesgo ante tsunami en los IPT del área.

Se estimó riesgo a partir de la amenaza y la vulnerabilidad a escala de manzana censal, utilizando 3 niveles según recomendaciones de la Comisión Nacional de Desarrollo Urbano (CNDU, 2019). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo fueron zonificados en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Evaluación de la amenaza de tsunami

Se utilizaron las Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU) del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Todas las comunas se encuentran cubiertas por modelaciones considerando un escenario similar al año 1730, a excepción de Santo Domingo.

Los datos corresponden a polígonos con la profundidad de inundación con intervalos entre 0-1 m, 1-2 m, 2-4 m, 4-6 m y sobre 6 m. Sobre esto, y tomando de referencia a Martínez et al., (2020), profundidades entre 0-1 m establecen amenaza baja, 1-2 m amenaza media y profundidades sobre 2 m determinan amenaza alta.

Posteriormente, se estableció la profundidad de inundación predominante por manzana, utilizando el geoproceso *spatial join* en ArcGIS.

Evaluación de la vulnerabilidad

Se aplicó el índice de vulnerabilidad social (SoVI, por sus siglas en inglés) de Cutter et al., (2003) a nivel de manzana censal. Para caracterizar las dimensiones de vulnerabilidad, se utilizaron datos disponibles en el CENSO 2017 y el Registro Social de Hogares (Ministerio de Desarrollo Social, 2020). 23 variables fueron seleccionadas para la determinación de SoVI (Tabla 1).

Variable	Descripción	Dimensión de vulnerabilidad	Fuente
Desocupación Laboral	La población sin empleo es más vulnerable frente a amenazas naturales debido a las dificultades económicas para responder a los impactos. Son un grupo de población que puede requerir apoyo adicional para su recuperación.	Económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Hogares con hacinamiento	A mayor número de personas en un hogar, existen más restricciones para responder ante una amenaza, debido a la vulneración de parámetros de satisfacción, comodidad, salud, seguridad e higiene.	Social	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Migración	Migrantes presentan mayor vulnerabilidad al no poseer una identidad con el territorio y no conocer las características que este presenta, entre ellas, las amenazas naturales. Además, los migrantes pueden no estar familiarizados con los planes de evacuación-emergencia.	Cultural	CENSO 2017
Porcentaje de Adultos mayores	La población mayor de 65 años suele presentar un mayor nivel de vulnerabilidad frente a amenazas naturales, debido a la dificultad en la evacuación por problemas físicos y dependencia funcional.	Social	CENSO 2017
Porcentaje de población jubilada	Población que no es económicamente activa y que depende de los fondos previsionales propios o asignados por el Estado, disminuyendo su capacidad económica frente a un desastre.	Económica	CENSO 2017
Porcentaje de niñas y niños	Menores de 14 años suelen presentar un mayor nivel de vulnerabilidad debido a la imposibilidad de tomar decisiones, por ejemplo, para evacuación.	Social	CENSO 2017

(Continúa en la siguiente página)

(Continuación)

Variable	Descripción	Dimensión de vulnerabilidad	Fuente
Porcentaje de estudiantes	Población dependiente económicamente de familias y comunidades, disminuyendo su capacidad económica para responder a las amenazas.	Económica	CENSO 2017
Materialidad de muros	El valor, calidad y densidad de la construcción residencial afecta las pérdidas y el potencial de recuperación. Viviendas con muros de materiales precarios o de desecho (cartón, latas, sacos, plásticos, etc.) poseen una categoría de irrecuperable.	Física	CENSO 2017
Materialidad de la cubierta del techo	Viviendas con cubierta del techo de materiales precarios, de desecho o sin cubierta poseen una categoría de irrecuperable.	Física	CENSO 2017
Materialidad del piso	Viviendas con piso de tierra poseen una categoría de irrecuperable.	Física	CENSO 2017
Disponibilidad de agua	La disponibilidad de agua en cantidad y calidad para el consumo humano es fundamental para responder a las emergencias. Zonas que no poseen sistema de agua o alcantarillado pueden requerir ayuda adicional en la etapa de respuesta y recuperación ante desastres, limitando la capacidad de atención a enfermos, consumo, higiene, salud y actividades comerciales.	Económica	CENSO 2017
Rezago escolar en educación básica.	Niños que se encuentran fuera del sistema educativo formal entre primero y octavo básico. Esta etapa es calificada como progresiva, por lo que el rezago dificulta el aprendizaje para leer, escribir, recibir y/o comprender de manera adecuada información relevante sobre las amenazas locales y las acciones que se debieran esperar.	Educativa	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Rezago escolar en educación media	Adolescentes que se encuentran fuera del sistema educativo formal entre primero y cuarto medio. La ausencia de instrucción en este nivel educativo puede generar dificultades en la creación de capacidades para comprender información relevante y sobre cómo actuar ante las amenazas.	Educativa	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Escolaridad media incompleta en adultos	Las personas que poseen educación formal secundaria incompleta pueden tener problemas en sus capacidades para responder y actuar ante una amenaza natural. Además, conlleva problemas de desarrollo económico y personal, mermando la situación socioeconómica para afrontar un desastre.	Educativa y económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Población adulta con hasta educación básica completada	La escolaridad hasta niveles primarios se presenta como una situación de alta vulnerabilidad debido a las bajas capacidades para recibir y comprender de manera adecuada información sobre reducción del riesgo.	Educativa y económica	CENSO 2017
Porcentaje de población indígena	La población indígena puede poseer barreras lingüísticas y culturales que desfavorecen la oportuna información ante desastres, la localización en zonas de bajo riesgo y la capacidad de respuesta. Condiciones de pobreza y discriminación social exacerbaban su vulnerabilidad.	Cultural	CENSO 2017
Porcentaje de población con discapacidad	Pertenecen al grupo de población con necesidades especiales, el cual se puede ver afectado desproporcionadamente durante los desastres por su invisibilidad en las comunidades. Además, poseen limitaciones de movilidad para evacuar.	Social	Ministerio de Desarrollo Social, 2020

(Continúa en la siguiente página)

(Continuación)

Variable	Descripción	Dimensión de vulnerabilidad	Fuente
Porcentaje de población sin cobertura de salud	La ausencia de cobertura de salud limita el acceso a los servicios proveedores de atención médica, limitando la capacidad de respuesta.	Económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Mujeres jefas de hogar	En contexto de desigualdad de género, su hogar puede ser más vulnerable frente a una amenaza por salarios más bajos. Además, las mujeres jefas de hogar pueden ser más vulnerables ante las amenazas debido a que, en primera instancia, se preocupan y ocupan de aquellos que dependen de ellas (adultos mayores y sus hijos) y, además deben enfrentar actividades adicionales no remuneradas (provisión de agua potable y alimento).	Cultural, social y económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Hogares con bajos ingresos	Un alto porcentaje de hogares en el tramo de 40% de menores ingresos, establece una mayor vulnerabilidad frente a amenazas naturales, debido al campo de acción limitado para prepararse o responder (se priorizan necesidades de alimento, vestuario o pago de servicios básicos, por ejemplo).	Económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Estructura de Familia (compuestos y extensos)	Las familias con una gran cantidad de dependientes a menudo poseen finanzas y campos de acción limitados entre las responsabilidades y el cuidado de la familia, afectando la capacidad del hogar en torno a la respuesta y recuperación.	Social y económica	Ministerio de Desarrollo Social, 2020
Estructura de Familia (hogares monoparentales)	Familias donde tan solo uno de los progenitores es responsable de la carga de los hijos, afectando la capacidad financiera del hogar.	Social y económica	CENSO 2017
Población dedicada al sector económico primario y secundario	Algunas actividades económicas pueden ser más afectadas por las amenazas, principalmente las relacionadas a la extracción de recursos naturales e industria, por lo que se deberán buscar alternativas laborales o asistencia tras el desastre.	Económica	CENSO 2017

Tabla 1. Variables para evaluación de vulnerabilidad social

Fuente: Autores, 2025, a partir de Cutter et al., (2003) y Martínez et al., (2020).

Para el tratamiento de los datos, las 23 variables fueron sometidas a un proceso de normalización a partir de su media aritmética y la desviación estándar del conjunto de datos. Se definió la tendencia de estas variables a aumentar o disminuir la vulnerabilidad (todas las variables contribuyen de forma positiva a la vulnerabilidad social). Con ello, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con método varimax y normalización de Kaiser.

Los factores del ACP fueron sumados linealmente por manzana, obteniendo el valor final de vulnerabilidad medido en desviaciones estándar respecto a la media. Estos se clasificaron en tres intervalos: baja ($< -0,5$ desviaciones), media ($-0,5$ a $0,5$ desviaciones) y alta ($> +0,5$ desviaciones) -adaptado de Cutter et al., (2003)-, permitiendo zonificar la vulnerabilidad en ArcGIS.

El método presenta limitaciones, como la exclusión de variables de vulnerabilidad de la dimensión comunitaria, institucional y ambiental debido a la escasez de datos públicos a nivel de manzana (Rojas y Martínez, 2011). Además, la aplicación de SoVI se restringe a las comunas estudiadas y cualquier cambio en las variables, unidades de análisis (ejecución del modelo a nivel de zona censal, distrito, etc.) o escalas (considerar solo 1 comuna en el análisis o aplicar el modelo a nivel regional o nacional), modificará los resultados obtenidos, pues el análisis de componentes principales es sensible a las medias y desviaciones estándar (Guerrero et al., 2023).

De igual manera, por el tiempo transcurrido desde el Censo 2017 y el Registro Social de Hogares 2020, pueden no estar reflejados cambios en el volumen de población, edad, género, migración y características socioeconómicas que se agudizaron tras la pandemia por COVID-19.

Asimismo, es una limitación no considerar el factor turístico que propicia mayor exposición en verano, dada la ausencia de datos georrefenciados en bases públicas.

Ajuste de vulnerabilidad. Integración de infraestructura crítica

Se ajustaron los valores de SoVI integrando la infraestructura crítica, definida como las estructuras físicas, organizativas, redes o sistemas que sustentan los bienes y servicios esenciales para el funcionamiento de los asentamientos (Fekete et al., 2017). Incluirla en los análisis de vulnerabilidad, según Tate (2012), proporciona una visión más precisa del impacto de los desastres, dado que su ubicación y dependencia pueden propagar el riesgo, lo que depende de su nivel de criticidad (Hazan y Foliente, 2015).

Para integrar la infraestructura crítica a la vulnerabilidad SoVI -según su nivel de criticidad-, se propone una clasificación según los criterios de EIRD (sf) y Fekete et al. (2017). Se identifica como infraestructura de alta criticidad a infraestructura energética, servicios de emergencia (Bomberos y Carabineros), Salud, infraestructura sanitaria, gobierno y puertos. También se clasifica como infraestructura de criticidad media a establecimientos educacionales e industria.

Para la incorporación de la infraestructura crítica a los valores SoVI, el nivel de criticidad se extrapolará a la manzana censal en donde se localice, primando sobre el nivel de vulnerabilidad SoVI. Así, en aquellas manzanas con la presencia de una infraestructura con criticidad alta, se consideró vulnerabilidad alta; en aquellas manzanas con infraestructura de criticidad media, se estableció vulnerabilidad media; a su vez, si en una manzana se presentan dos o más infraestructuras con distinto nivel de criticidad, predominará el nivel de vulnerabilidad asociado a la infraestructura con criticidad más alta.

La excepción ocurrirá en el caso que la manzana censal no presente la localización de una infraestructura crítica o que la vulnerabilidad resultante del método SoVI sea mayor a la vulnerabilidad resultante de la localización de una infraestructura crítica. En ambos casos, se mantiene valor SoVI.

La localización de la infraestructura crítica fue obtenida del catastro de exposición bajo los 30 *msnm* disponible en la plataforma GeoHUB Litoral.

Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo se realizó mediante álgebra de mapas, específicamente multiplicación, utilizando SIG y tomando de referencia los criterios de Eckert et al., (2012), obteniéndose tres niveles de riesgo: alto, medio y bajo, con puntajes desde 1 a 9 (Tabla 2). Para ello se tomó en consideración los tres niveles de amenaza (con puntajes de 1 a 3) y la vulnerabilidad resultante del método SoVI ajustada con la presencia de infraestructura crítica (con puntajes de 1 a 3).

X	Amenaza			
	Nivel	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)
Vulnerability	Baja (1)	$B \ 1 \times 1 = 1$	$B \ 1 \times 2 = 1$	$M \ 1 \times 3 = 3$
	Media (2)	$B \ 2 \times 1 = 2$	$M \ 2 \times 2 = 4$	$A \ 2 \times 3 = 6$
	Alta (3)	$M \ 3 \times 1 = 3$	$A \ 3 \times 2 = 6$	$A \ 3 \times 3 = 9$

Tabla 2. Matriz de riesgo

Fuente: Autores, 2025, a partir de Eckert et al., (2012).

Nota: Niveles de riesgo: Bajo (1-2), Medio (3-4), Alto (6-9).

RESULTADOS

Amenaza de tsunami

En torno a la amenaza de tsunami y como se observa en la Tabla 3, todas las comunas de la provincia poseen más de 60 manzanas censales expuestas, destacando Cartagena (177) y El Tabo (172). Respecto a la superficie de las manzanas expuestas, sobresalen las comunas de El Tabo (8,8 km²) y Algarrobo (4,8 km²), mientras que, relacionado a población expuesta, se subraya el caso de San Antonio (5647) y Cartagena (4223). Finalmente, ligado al número de viviendas expuestas, prevalece Algarrobo (5469) y El Tabo (4157). En esta última variable se observa cómo en algunas comunas existe mayor número de viviendas que de población residente, lo que habla de la vocación turística de la zona.

Comuna	Manzanas	Manzanas expuestas a tsunami	Superficie expuesta (km²)	Población expuesta	Viviendas expuestas
Algarrobo	563	60	4,8	1455	5469
El Quisco	717	91	4,3	2145	3058
El Tabo	558	172	8,8	2963	4157
Cartagena	608	177	3,2	4223	3742
San Antonio	1228	124	4,4	5647	2143

Tabla 3. Exposición a tsunami en las comunas de estudio
Fuente: Autores, 2025.

Sobre el desglose de los niveles de amenaza, de las 60 manzanas expuestas en Algarrobo, 55 poseen amenaza alta (92%), es decir, profundidades de inundación sobre 2 metros, mientras que 5 manzanas tienen amenaza baja (5%), lo que establece profundidades de inundación bajo 1 metro. Respecto a la comuna de El Quisco, de las 91 manzanas expuestas, 67 adquieren amenaza alta (74%), 1 amenaza media (1%) y 23 amenaza baja (25%).

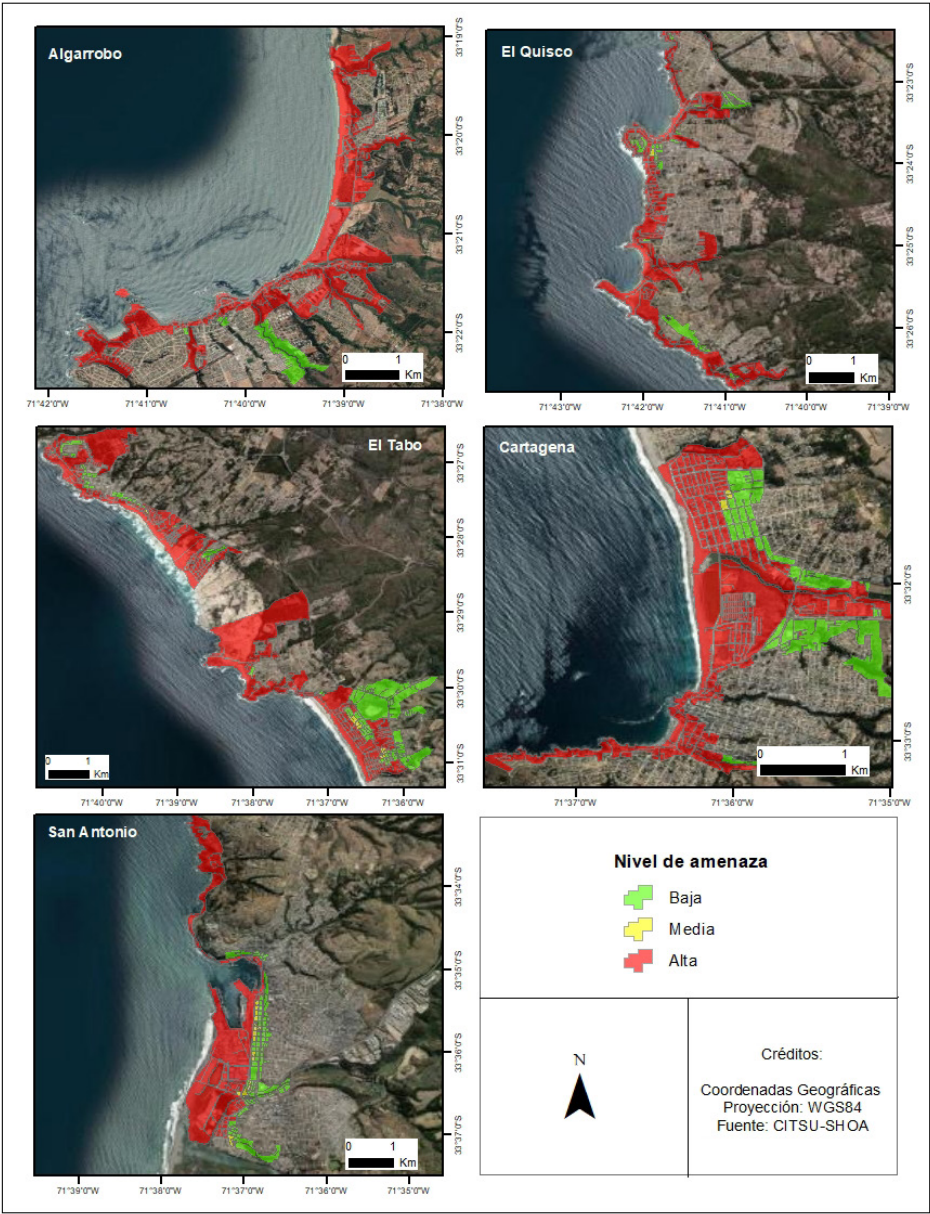


Figura 2. Amenaza de tsunami en la Provincia de San Antonio
Fuente: Autores, 2025.

Por otro lado, en El Tabo, de 172 manzanas expuestas, 110 poseen amenaza alta (64%), 9 amenaza media (5%) y 53 amenaza baja (31%). En tanto, en Cartagena, de 177 manzanas en zona de inundación, 147 poseen amenaza alta (83%), 3 amenaza media (2%) y 27 amenaza baja (15%). Finalmente, en San Antonio, de las 124 manzanas expuestas, 36 presentan amenaza alta (29%), 18 amenaza media (15%) y 70 amenaza baja (56%).

Así, Algarrobo y Cartagena son las comunas con mayor porcentaje de manzanas en situación de amenaza alta de tsunami, con 92% y 83% respectivamente. A nivel general, se observan pocas manzanas con amenaza media, posiblemente debido a la limitada presencia de profundidades de inundación de 1-2 metros según la modelación del SHOA y al proceso de asignar la profundidad predominante por manzana, lo que tiende a invisibilizar este nivel de amenaza.

Vulnerabilidad

Tras aplicar SoVI, se estableció la presencia de siete factores y una varianza explicada del 62.7% del sistema (Tabla 4). Valores cercanos a 1 o -1 establecen la pertenencia de una variable al factor respectivo.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
Mujeres Jefas de Hogar	0.931						
Bajos Ingresos (RSH)	0.912						
Adultos sin escolaridad media completa	0.898						
Ausencia de cobertura de salud	-0.692		0.501				
Discapacidad	0.495		-0.381				
Jubilados		-0.845					
Estructura de hogar (hogares monoparentales)		0.799					
Estudiantes		0.790					
Estructura de hogar (hogares compuestos y extensos)		0.669					
Hacinamiento	0.498	0.631					
Dependencia económica (sector 1° y 2°)	0.351		0.736				
Desocupación		-0.463	0.556				
Disponibilidad de agua deficitaria			0.495			-0.304	
Población adulta con hasta educación básica			0.485				
Muro irrecuperable				0.788			
Techo irrecuperable				0.699			
Piso irrecuperable				0.652			
Porcentaje de adultos mayores					-0.777		
Niños					0.741		
Rezago escolar básica						0.812	
Rezago escolar media						0.606	
Migración							-0.770
Pueblos indígenas					0.373		0.585

Tabla 4. Factores del Análisis de Componentes Principales
Fuente: Autores, 2025.

El componente 1, que explica el 16,2% de la vulnerabilidad, incluye las variables mujeres jefas de hogar, bajos ingresos, escolaridad media incompleta, ausencia de cobertura de salud y discapacidad, y se interpreta como "nivel socioeconómico, género y salud". El componente 2, que

representa el 14,3% de la vulnerabilidad, está formado por las variables jubilados, tipo de hogar, estudiantes, hacinamiento y, en menor medida, desocupación, y se interpreta como “desocupación laboral y estructura de hogar”.

El componente 3, que explica el 8,4% de la vulnerabilidad, incluye las variables dependencia económica del sector primario y secundario, desocupación laboral, disponibilidad deficitaria de agua y adultos con educación básica, interpretándose como “actividad económica, escolaridad incompleta en adultos y acceso a agua potable”. El componente 4, en tanto, que representa el 6,9% de la vulnerabilidad, está compuesto por las variables piso, techo y muro irrecuperables, y se entiende como “materialidad de la vivienda”. El componente 5, que explica el 6,5% de la vulnerabilidad, está formado por el porcentaje de adultos mayores y niños, y se interpreta como “edad”.

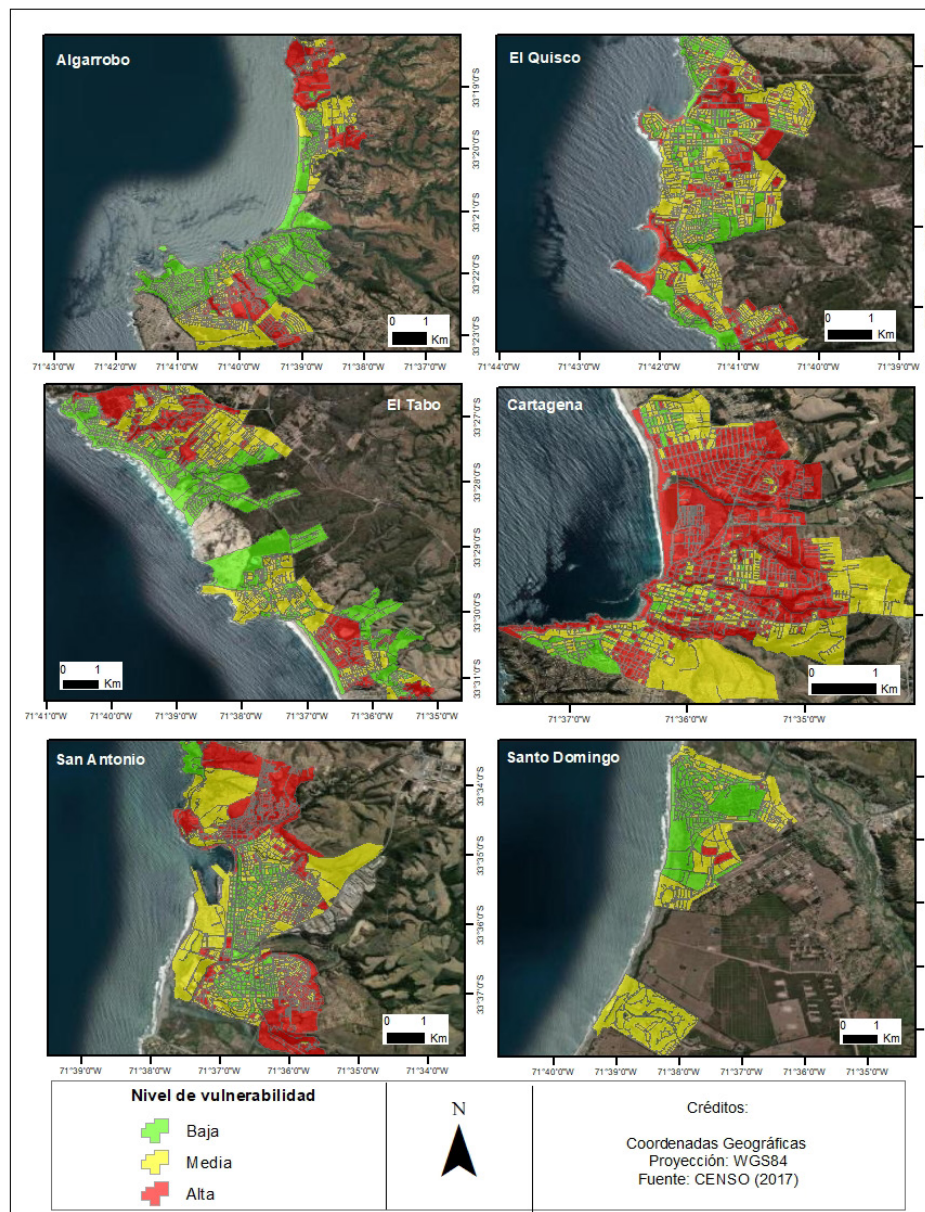


Figura 3. Vulnerabilidad social en la Provincia de San Antonio
Fuente: Autores, 2025.

El componente 6, que explica el 5,8% de la vulnerabilidad, agrupa las variables rezago escolar en educación básica y media, y se interpreta como “rezago escolar en niños y adolescentes”. Finalmente, el componente 7, que representa el 4,6% de la vulnerabilidad, está compuesto por las variables migración y pueblos indígenas, y se deduce como “migración y etnia”.

Así, el componente “nivel socioeconómico, género y salud” es el principal determinante de la vulnerabilidad en la provincia, seguido por el componente “desocupación laboral y estructura del hogar”. La vulnerabilidad social alta ante el riesgo se explica principalmente por bajos ingresos, alto porcentaje de mujeres jefas de hogar, acceso limitado a servicios de salud y cesantía, factores que incrementan la susceptibilidad de la población al daño al reducir las capacidades de respuesta y recuperación ante las amenazas.

Sobre el nivel de vulnerabilidad a nivel de comuna, y como se observa en la Figura 3, en Algarrobo 92 manzanas presentan vulnerabilidad alta (16%), 200 vulnerabilidad media (36%) y 271 vulnerabilidad baja (48%). En relación a la comuna de El Quisco, 90 manzanas poseen vulnerabilidad alta (12%) 486 vulnerabilidad media (68%) y 141 vulnerabilidad baja (20%). En tanto, respecto a El Tabo, 99 manzanas tienen vulnerabilidad alta (18%), 246 vulnerabilidad media (48%) y 213 vulnerabilidad baja (34%).

Por otro lado, en Cartagena, 358 manzanas presentan vulnerabilidad alta (59%), siendo la comuna con mayor porcentaje de vulnerabilidad en la provincia. Además, 190 manzanas presentan vulnerabilidad media (31%) y 60 vulnerabilidad baja (10%).

Sobre la comuna de San Antonio, 406 manzanas establecen vulnerabilidad alta (33%), 489 vulnerabilidad media (40%) y 333 vulnerabilidad baja (27%). Finalmente, en Santo Domingo, de 217 manzanas a nivel comunal, solo 5 poseen vulnerabilidad alta (2%). Además, 104 manzanas tienen vulnerabilidad media (48%) y 108 vulnerabilidad baja (50%).

Ajuste de los niveles de vulnerabilidad por presencia de infraestructura crítica

Sobre la presencia de infraestructura crítica (en adelante IFC), en Algarrobo y El Quisco no se presenta IFC bajo los 30 *msnm*. En El Tabo hay 3 IFC de alta criticidad y 2 de criticidad media, en Cartagena 1 alta y 3 media, en San Antonio 18 alta y 28 media, mientras que, en Santo Domingo 2 alta. En la Figura 4 se establece la visualización de la IFC en zona de exposición ante tsunami.

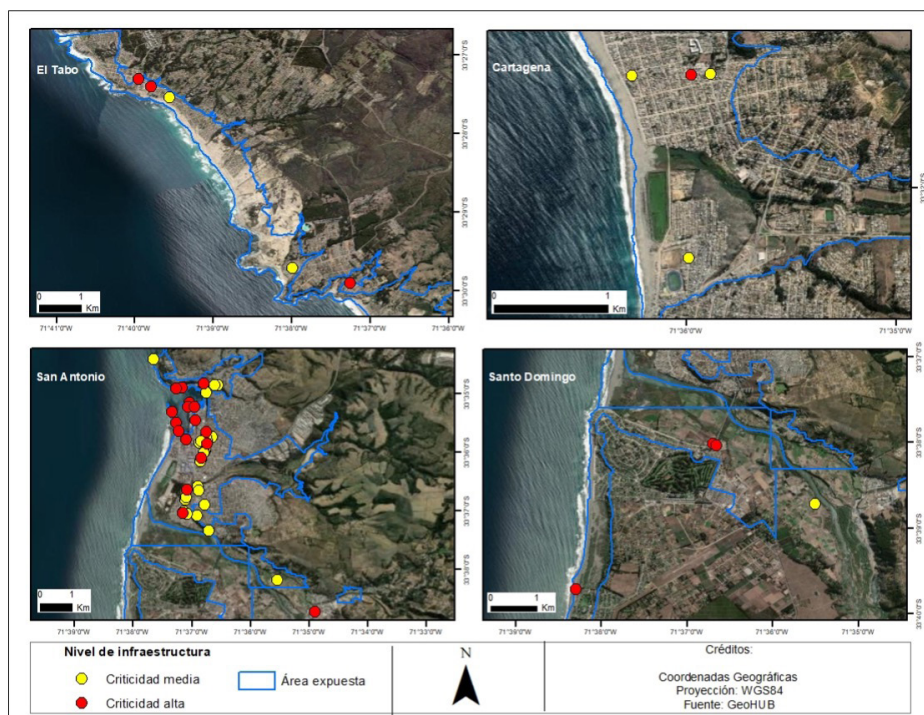


Figura 4. Localización de Infraestructura Crítica en zonas expuestas a tsunami
Fuente: Autores, 2025.

El ajuste de vulnerabilidad por presencia de IFC se ejemplifica en la Figura 5, específicamente en el sector portuario de San Antonio. En el esquema C, se combinan la IFC y los niveles de vulnerabilidad SoVI para observar diferenciaciones, mientras que en el esquema D se muestra el ajuste de vulnerabilidad según el nivel de criticidad de la IFC. Destaca la manzana del puerto, que pasa de vulnerabilidad media según SoVI a alta tras el ajuste, debido a su relevancia económica y

social. Asimismo, varias manzanas con vulnerabilidad baja en las cercanías del puerto aumentan a niveles medios y altos por la presencia de IFC (Figura 5D).

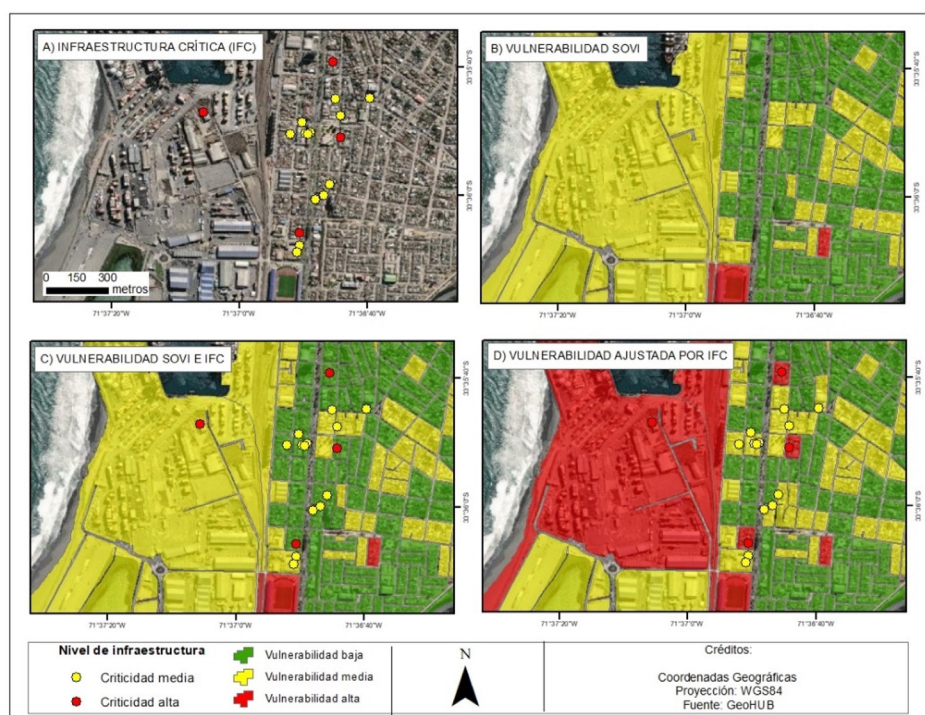


Figura 5. Ajuste de vulnerabilidad por IFC

Fuente: Autores, 2025.

Mediante el ajuste, 4 manzanas aumentaron su vulnerabilidad por la presencia de IFC en El Tabo, 1 en Cartagena y 19 en San Antonio.

Riesgo de tsunami

Se integró la amenaza de tsunami con la vulnerabilidad para establecer los niveles de riesgo (Figura 6).

Respecto a Algarrobo, de 60 manzanas expuestas, 16 poseen riesgo alto (27%), 30 riesgo medio (65%) y 5 riesgo bajo (8%). Se entenderán las zonas con riesgo alto, como aquellas que tienen alta probabilidad de daños y pérdidas sociales y económicas por presentar profundidades de inundación de tsunami sobre 2 metros, alta susceptibilidad de la población al daño por sus características socioeconómicas y la presencia de IFC. Además, de los 1455 habitantes expuestos, 35 poseen riesgo alto (2%).

Sobre El Quisco, de 91 manzanas expuestas, 53 tienen riesgo alto (58%), 16 tienen riesgo medio (18%) y 22 alcanzan riesgo bajo (24%). Se destaca que de las 2145 personas expuestas, 1445 están con riesgo alto (67%). En cuanto a El Tabo, de 172 expuestas, en 50 existe riesgo alto (29%), en 76 riesgo medio (44%) y en 46 riesgo bajo (27%). En la misma línea, de 2963 expuestas, 1672 están en riesgo alto (56%).

Por otro lado, en Cartagena de 177 manzanas expuestas, 128 poseen riesgo alto (72%), 44 tienen riesgo medio (25%) y 5 riesgo bajo (3%). Además, de 4233 personas expuestas, 2840 tienen riesgo alto (67%), siendo, junto a El Quisco, las comunas de la provincia con mayor porcentaje de población con alto riesgo.

Finalmente, en la comuna de San Antonio, de 124 manzanas expuestas, 36 adquieren riesgo alto (29%), 27 riesgo medio (22%) y 61 riesgo bajo (49%). De igual manera, de 5647 habitantes expuestos, 1522 poseen riesgo alto (27%).

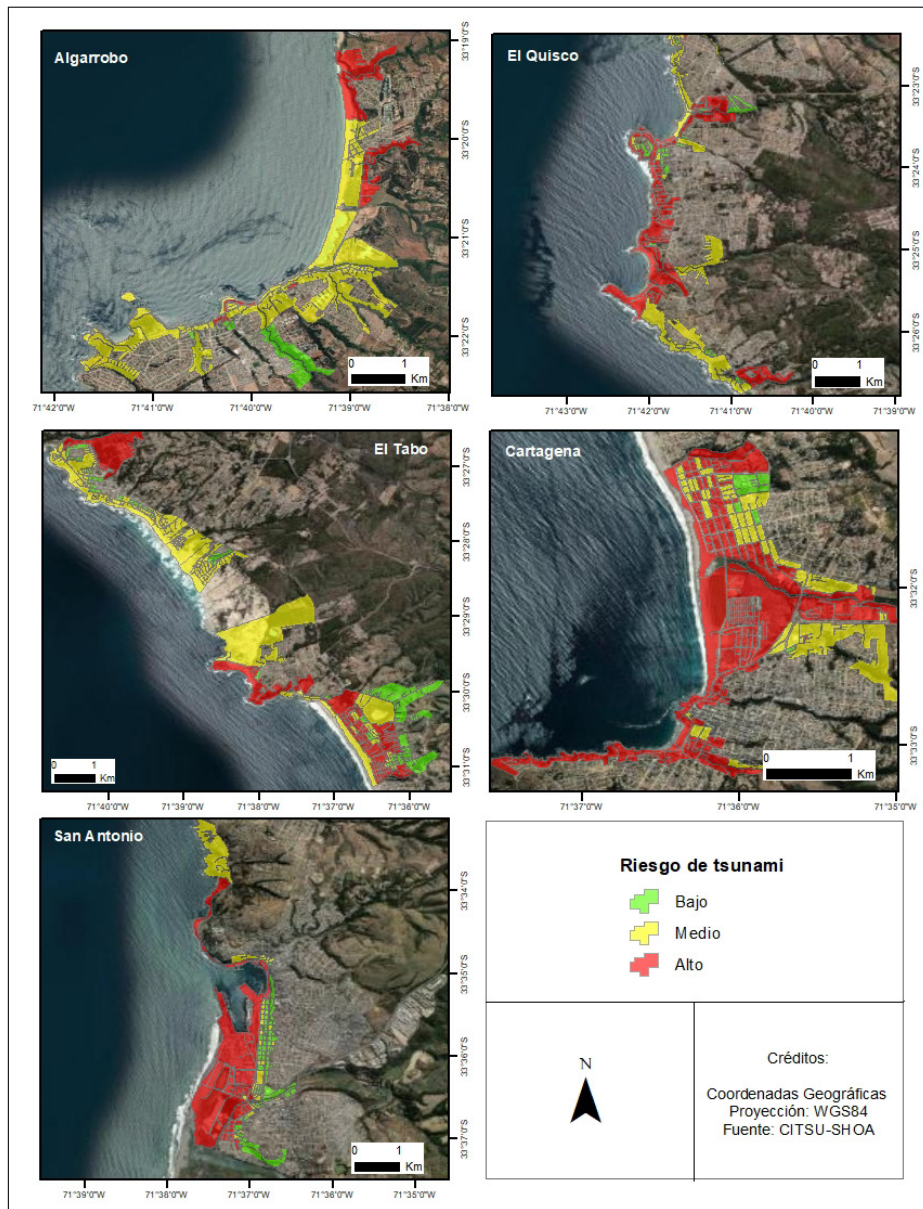


Figura 6. Niveles de riesgo en la provincia de San Antonio
Fuente: Autores, 2025.

En síntesis, a nivel provincial, hay 18569 viviendas expuestas y 16433 habitantes con riesgo ante tsunami, de los cuales, 46% presenta riesgo alto, 26% riesgo medio y 28% riesgo bajo. Esta situación crítica es alentada, entre otras razones, por la geomorfología del área, pues se presentan planicies litorales y zonas bajas, lo que promueve el desarrollo urbano y turístico en sectores aledaños a la costa, aumentando la exposición (Martínez et al., 2020). Ligado a esto, además, existe ausencia de áreas de riesgo en los IPT según la normativa vigente, en donde, tanto el Plan Regulador Intercomunal como los respectivos Planes Reguladores Comunales están desactualizados -18 años de antigüedad en promedio-. Estos instrumentos permiten usos mixtos en zonas de riesgo (viviendas, equipamientos, comercios, etc.) lo que aumenta continuamente la exposición ante tsunami. Destaca el caso de San Antonio, pues establece zona portuaria y otras tipologías de IFC en las áreas de riesgo alto, lo que acrecienta en demasía la probabilidad de pérdidas económicas.

Por otro lado, y como se observó en la Figura 3, existen áreas con vulnerabilidad social alta principalmente por sus características socioeconómicas (de acuerdo a SoVI), destacando Cartagena, que es la comuna con mayor cantidad de población con vulnerabilidad alta (11233) y, a su vez, es la que posee mayor cantidad de población con riesgo alto, lo que establece que

este componente es el que en mayor medida determina los niveles de riesgo. Caso contrario ocurre en Algarrobo, que de las comunas analizadas con riesgo, es la que posee mayor número de manzanas y población con vulnerabilidad baja (3492), siendo a su vez, la que indica menor cantidad de población con riesgo alto. Así, existe una construcción social del riesgo en la provincia.

DISCUSIÓN

Incorporación de áreas y niveles de riesgo en los IPT

Se reconoce que una deficiencia en planificación territorial para la reducción del riesgo de desastre genera pérdidas económicas y sociales importantes para una comunidad en caso de la ocurrencia de una amenaza de rango extraordinario (Kondo y Larrizalde, 2021). Esto es crítico si se considera que actualmente no hay áreas de riesgo en los IPT de la provincia de San Antonio, más de 16.000 personas están expuestas de acuerdo a los resultados, existe infraestructura crítica bajo los 30 msnm y está latente un escenario tsunamigénico similar al del año 1730. Así toma cada vez más importancia el enfoque de la gestión prospectiva del riesgo, que implica el reconocimiento y la identificación de escenarios de riesgo para la definición de diagnósticos y alternativas de solución dentro de la planificación territorial (Rinaldi y Bergamini, 2020; Mattioli et al., 2023).

Un escenario de riesgo corresponde a una cartografía realizada mediante técnicas cuantitativas y/o cualitativas que presenta una consideración pormenorizada de amenazas y vulnerabilidades, ofreciendo una metodología como base para la toma de decisiones (Chen et al., 2021). Lamentablemente en Chile, los escenarios de riesgo como insumo a los IPT son insuficientes dada la ausencia de metodologías estandarizadas y que se asimila la zonificación de amenaza a zonificación de riesgo, excluyendo la vulnerabilidad (Vicuña y Schuster, 2021). Aún más, la reciente promulgación de la Ley 21.364 que establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED) y que crea nuevos instrumentos para la reducción del riesgo, específicamente los mapas de amenaza, sigue incorporando solo a este componente en los IPT (Ley 21364, 2021).

La falta de incorporación de la exposición y vulnerabilidad en los IPT impide modificar las interacciones entre los componentes del riesgo, lo que dificulta la selección de normas urbanísticas, medidas de mitigación adecuadas y otras acciones para reducir el riesgo presente y futuro (Rinaldi y Bergamini, 2020; Greiving et al., 2021).

Por tal motivo, en la metodología propuesta se tomó en cuenta la caracterización de la amenaza de tsunami y se elaboró un índice de vulnerabilidad considerando el método SoVI (Cutter et al., 2003) y la IFC, buscando integrar los componentes y determinar niveles de riesgo, generando, de paso, un precedente para incorporar riesgo en los IPT. Esto es una oportunidad si se considera la difusión de la “guía metodológica para la elaboración de estudios de riesgo de los planes reguladores del nivel comunal e intercomunal” del Ministerio de Vivienda de Urbanismo (2024), que busca fijar un estándar en la elaboración de estudios de riesgo para los IPT. Entre otros, establece que tanto la amenaza como la vulnerabilidad se deben clasificar en niveles y aún más, determina que estos componentes se deben integrar en una matriz numérica para cuantificar riesgo, lo que se alinea a la propuesta de esta investigación.

De paso, la guía propone criterios normativos para los IPT según niveles de riesgo, estableciendo prohibición, restricción y control de usos en las zonas con riesgo muy alto y alto. Además, recomienda condicionar los usos en las zonas de riesgo moderado y compatibilizar los usos y ocupaciones en las zonas de riesgo bajo, vale decir, garantizar la seguridad para las personas e infraestructura (Ministerio de Vivienda de Urbanismo, 2024).

Sobre lo expuesto previamente y considerando que resulta dificultoso relocalizar viviendas e infraestructura por decisión de los mismos habitantes y altos costos económicos (Inzunza y Martínez, 2024), en línea a una gestión prospectiva del riesgo, se deben generar medidas para la adaptabilidad en los elementos expuestos actualmente, entre ellas, implementar medidas estructurales para reducir la vulnerabilidad física de viviendas e infraestructura mediante alternativas accesibles (Igualt, 2017), incorporar servicios ecosistémicos de los sistemas costeros como mitigadores ante amenazas, (Martínez et al., 2020), desarrollar estudios y planes de evacuación (Vicuña y León, 2022), fortalecer instancias de capacitación, educación y difusión de estudios sobre riesgos hacia la comunidad, con el fin de generar participación ciudadana (Donovan et al., 2018), además de reducir la vulnerabilidad social de la población mediante políticas, planes

y otras medidas, principalmente en zonas con vulnerabilidad social alta (Fainstein, 2015), dando énfasis al nivel socioeconómico, género y acceso a salud (componente que en mayor medida explica la vulnerabilidad de la provincia de acuerdo a SoVI).

Igualmente, en miras a la planificación futura y considerando la zonificación de riesgo con la metodología propuesta (Figura 6), en las áreas de riesgo alto no se debiese aumentar la densidad urbana ni permitir la construcción de nuevas viviendas ni infraestructura crítica, en las áreas de riesgo medio, se debe considerar grado de restricción menor al anterior, mientras que, en las áreas de riesgo bajo, se deben mantener las actuales disposiciones del artículo 2.1.17 de la OGUC (Inzunza y Martínez, 2024).

El desafío radica en integrar los mapas de amenaza en los IPT, conforme a las disposiciones del SINAPRED y la nueva guía del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2024), para incorporar riesgo como tal en dichos instrumentos. Sin embargo, persiste una contradicción entre estas disposiciones. En este contexto, los mapas de riesgo definidos por la Ley 21.364 (2021) como herramientas de diagnóstico que relacionan amenaza, vulnerabilidad y exposición, y que sirven como insumo para los Planes de Gestión de Riesgo de Desastres a nivel regional, provincial y comunal, también deberían incluirse en los IPT.

Oportunidades metodológicas

Una de las principales críticas a las metodologías de riesgo es que, al ser sofisticadas, requieren gran cantidad de datos, un tiempo prolongado de aplicación y altos costos monetarios, por lo que no son atractivas para tomadores de decisión (Bastami et al., 2022). Además, en Chile, los procesos de elaboración o actualización de los IPT demoran en torno a 7 años, entre otros motivos, por procesos burocráticos extensos, ausencia de equipos técnicos capacitados y la carencia de recursos económicos municipales (Rinaldi y Bergamini, 2020), por lo que es una dificultad incorporar áreas de riesgo.

La oportunidad de aplicación de la metodología propuesta es que los entes encargados de diseñar y desarrollar IPT podrán incorporar áreas de riesgo ante tsunamis en zonas costeras a partir de información disponible en bases de datos públicas (plataforma CITSU-SHOA para tsunamis, datos censales y del RSH para vulnerabilidad social y plataforma GeoHUB para establecer IFC en zonas inundables), lo cual disminuiría tiempo y costos económicos para incorporar las zonificaciones. El requisito técnico para ello es tener conocimientos en estadística (estimación de SoVI) y SIG para integrar y zonificar los componentes del riesgo.

Otro elemento para destacar sobre la propuesta metodológica es que se hizo una aproximación más integral para la estimación de la vulnerabilidad, pues no solo se incluyeron aspectos socioeconómicos y demográficos, sino que además, se incorporaron niveles de criticidad en la infraestructura, generando escenarios de riesgo más realistas (Mah et al., 2023). Sobresale el caso de San Antonio, en donde gran parte de la zona portuaria resultó con vulnerabilidad baja y media según SoVI. No obstante, al ajustar la vulnerabilidad con la criticidad de infraestructura, el área aumentó su vulnerabilidad y el nivel de riesgo (Figura 5).

Finalmente, en contexto de la Ley 21364 que establece los mapas de amenaza en los IPT, el SHOA será el organismo encargado de entregar los mapas de amenaza por tsunamis. En tal sentido, se pueden tomar de referencia los parámetros de caracterización de nivel de amenaza propuestos en este estudio. Además, una vez que se cuente con modelación de tsunami para Santo Domingo, de igual manera se podrá aplicar el método en aquella comuna.

CONCLUSIONES

La provincia de San Antonio enfrenta un importante desafío en la reducción del riesgo ante tsunamis, con más de 16.000 habitantes expuestos, de los cuales cerca del 50% presenta riesgo alto. Este panorama está influenciado por características geomorfológicas, áreas con alta vulnerabilidad social (principalmente Cartagena) así como deficiencias en la planificación territorial, dado que los actuales IPT no contemplan áreas de riesgo.

Sumado a lo anterior, la elaboración de escenarios de riesgo en los IPT es limitada en Chile, debido a la falta de metodologías estandarizadas y a la confusión entre zonificación de amenaza y zonificación de riesgo, excluyendo el componente vulnerabilidad. Aunque la Ley 21.364 (SINAPRED) avanza en la incorporación de mapas de amenaza, estos aún excluyen la vulnerabilidad en los IPT, dificultando la implementación de medidas integrales de mitigación.

La metodología propuesta aborda esta deficiencia mediante un índice que integra amenaza y vulnerabilidad, utilizando el método SoVI y la criticidad de la infraestructura. Este enfoque genera un precedente para incluir escenarios de riesgo en los IPT, alineándose con la nueva guía metodológica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2024), que estandariza la clasificación de amenaza y vulnerabilidad en niveles e introduce matrices para cuantificar el riesgo. Además, al utilizar bases de datos públicas y técnicas accesibles como el SoVI y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se plantea como una alternativa viable para superar las limitaciones económicas y técnicas que han dificultado la actualización de áreas de riesgo en los IPT.

La integración de áreas de riesgo como tal en los IPT mediante metodologías accesibles permitirá reducir el riesgo en la provincia, lo que complementando a la generación de acciones según niveles de riesgo, establecerá un modelo de planificación territorial resiliente frente a desastres socionaturales. En tal sentido, se acepta la hipótesis que el método propuesto permite diferenciar niveles de riesgo.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto 1523A0009 FONDAP 2023, Chile.

REFERENCIAS

- Agnelli, D., Tajani, F. & Ranieri, F. (2022). Urban resilience against natural disasters: Mapping the risk with an innovative indicators-based assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133496. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133496>
- Aránguiz, R., Catálan, P.A., Cecioni, C., Bellotti, G., Henriquez, P. & González, J. (2019). Tsunami resonance and spatial pattern of natural oscillation modes with multiple resonators. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(11), 7797-7816. <https://doi.org/10.1029/2019jc015206>
- Aránguiz, C., & Catalán, P. (2022). Revisión de los métodos de análisis de la amenaza de tsunami en Chile. En: Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., Fuentes, L. (editores), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales* (pp. 159-176). Serie GEOLibros.
- Bastami, M., Abbasnejadfar, M., Motamed, H., Ansari, A., & Garakaninezhad, A. (2022). Development of hybrid earthquake vulnerability functions for typical residential buildings in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103087>
- Brumarová, L., Brumar, J., & Pokorný, J. (2020). Creating of Risk Maps. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 444. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/444/1/012006>
- Carraro, V., Visconti, C. & Inzunza, S. (2021). Neoliberal urbanism and disaster vulnerability on the Chilean central coast. *Geoforum*, 121, 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.02.023>
- Chen, Y., Ye, Z., Liu, H., Chen, R., Liu, Z., & Liu, H. (2021). A GIS-Based Approach for Flood Risk Zoning by Combining Social Vulnerability and Flood Susceptibility: A Case Study of Nanjing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph18211597>
- CNDU. (2019). Propuestas para el mejoramiento de las condiciones de resiliencia de las ciudades chilenas. <https://cndu.gob.cl/download/propuestas-para-el-mejoramiento-de-lascondiciones-de-resiliencia-de-las-ciudades-chilenas/>
- Contreras, M., & Winckler, P. (2013). Pérdidas de vidas, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el tsunami del 27 de febrero de 2010 en la costa central de Chile. *Obras y Proyectos*, 14, 6-19. <http://dx.doi.org/10.4067/So718-28132013000200001>
- Cutter, S., Boruff, B. & Shirley, W. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. <https://www.jstor.org/stable/42955868>
- Dandoulaki, M., Lazoglou, M., Pangas, N., & Serrao, K. (2023). Disaster Risk Management and Spatial Planning: Evidence from the Fire-Stricken Area of Mati, Greece. *Sustainability*, 15, 9776. <https://doi.org/10.3390/su15129776>
- Donovan, A., Suppasri, A., Kuri, M., & Torayashiki, T. (2018). The complex consequences of volcanic warnings: Trust, risk perception and experiences of businesses near Mount Zao following the 2015 unrest period. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 27, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.023>

- Eckert, S., Jelinek, R.; Zeug, G. & Krausmann, E. (2012). Remote sensing-based assessment of tsunami vulnerability and risk in Alexandria, Egypt. *Applied Geography*, 32(2), 714-723. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.003>
- EIRD. (s.f). Documento de Apoyo Infraestructura. 1-48. <https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/Recuperacion/6-Infraestructura.pdf>
- Fainstein, S. (2015). Resilience and justice. *International Journal of urban and regional research*, 39(1), 157-167. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12186>
- Fekete, A., Tzavella, K., & Baumhauer, R. (2017). Spatial exposure aspect contributing to vulnerability and resilience assessments of urban critical infrastructure in a flood and blackout context. *Natural Hazards*, 86, 151-176. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2720-3>
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F. & Dahe, Q. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
- Geoffroy, C., & Ciocca, I. (2023). Los peligros volcánicos en la planificación urbana en Chile. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(2), 36-56. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.123>
- Greiving, S., Schödl, L., Gaudry, K., Quintana, I., Prado, B., Fleischhauer, M., Margoth, M., Guerra, J. & Tobar J. (2021). Multi-Risk Assessment and Management—A Comparative Study of the Current State of Affairs in Chile and Ecuador. *Sustainability*, 13(3), 1366-. <https://doi.org/10.3390/su13031366>
- Guerrero, N., Contreras, M., Chamorro, A., Martínez, C. & Echaveguren, T. (2023). Social vulnerability in Chile: challenges for multi-scale analysis and disaster risk reduction. *Natural Hazards* 117, 3067-3102. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05978-z>
- Hazan, S. & Foliente, G. (2015). Modeling infrastructure system interdependencies and socioeconomic impacts of failure in extreme events: emerging R & D challenges. *Natural Hazards*, 78(3), 2143-2168. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1814-7>
- Igualt, F. (2017). Evaluación de vulnerabilidad física y adaptabilidad post-tsunami en Concón, zona central de Chile. *Revista AUS*. 22, 53-58. <https://doi.org/10.4206/aus.2017.n22-09>
- Inzunza, S., & Martínez, C. (2024). Método CRET: Una propuesta para incorporar áreas de riesgo concatenado sismo-tsunami en la planificación territorial chilena. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 51(152), 1-33. <https://doi.org/10.7764/EURE.51.152.07>
- Kondo, T. & Lizarralde, G. (2021). Maladaptation, fragmentation, and other secondary effects of centralized post-disaster urban planning: The case of the 2011 “cascading” disaster in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, 102219-. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102219>
- Ley 21364. (2021) Sistema y Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. Gobierno de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163423&idParte=10257882>
- Mah, J., Penwarden, J., & Pott, H. (2023). Social vulnerability indices: a scoping review. *BMC Public Health*, 23, 1253. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16097-6>
- Martínez, C., Cienfuegos, R., Inzunza, S., Urrutia, A. & Guerrero, N. (2020). Worst-case tsunami scenario in Cartagena Bay, central Chile: Challenges for coastal risk management. *Ocean and Coastal Management*, 185, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105060>
- Martínez, C., Guerrero, N., Inzunza, S., Bronfman, N., Chamorro, A., & Mons, S. (2022). La vulnerabilidad social en la costa de Chile durante los últimos 30 años: nuevos desafíos para la reducción del riesgo de desastres. En: Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., Fuentes, L. (editores), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales* (pp. 137-158). Serie GEOlibros.
- Márquez, M., & Veloso, E. (2021). El ordenamiento territorial en Chile: estado del arte. *Estado, Gobierno y Gestión Pública*, 18(35), 139-179. <https://doi.org/10.5354/0717-8980.2020.61424>
- Mattioli, L., Blanco, A., Soria, V., & Henríquez, M. (2023). Aportes de la prospectiva a la construcción de futuros en el proceso de planificación territorial. *Eutopía, Revista de Desarrollo Económico Territorial*, (23), 32-56. <https://doi.org/10.17141/eutopia.23.2023.5914>
- Meerow, S., Newell, J., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landsc. Urban Plan*, 147, 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>

- Ministerio de Desarrollo Social. (2020). Sistema Integrado de Información Social con desagregación Territorial (SIIS-T). <http://siist.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2024). Guía metodológica para la elaboración de estudios de riesgo de los planes reguladores del nivel comunal e intercomunal. https://participacionciudadana.minvu.gob.cl/sites/default/files/guariesgos_07.o8.24.pdf
- Moris, R., Contrucci, P. & Ortega, A. (2017). El riesgo en la actualización post-desastre de instrumentos de planificación territorial comunales en Chile 2010 – 2014. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 1(1), 85-100. <https://doi.org/10.55467/reder.viii.6>
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, D.S. N° 47 (2024). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=8201>
- Peña, F., Schuster, JP., Arévalo, P., Arenas, F & Fuentes, L. (2022). Ordenamiento territorial en la costa de Chile: Alcances, competencias y estado de situación. En Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., Fuentes, L. (editores), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales* (pp. 435-454). Serie GEOLibros.
- Rinaldi, A., & Bergamini, K. (2020). Inclusión de aprendizajes en torno a la gestión de riesgo de desastres naturales en instrumentos de planificación territorial (2005 - 2015). *Revista de Geografía Norte Grande*, (75), 103-130. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000100103>
- Rodríguez, M. T. (2017). Hacia una conurbación urbana resiliente: La ciudad de Concepción, Chile, y el gran terremoto y tsunami del año 2010. Editorial Académica Española.
- Rojas, O., & Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 83 – 116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383239103004>
- Ruiz, S., & Madariaga R. (2012). Sismogénesis, proceso de ruptura y réplicas del mega terremoto del Maule 2010. Mw. 8.8 - terremoto en Chile, 13-30.
- Sandoval, V., Wisner, B. & Voss, M. (2021). Natural Hazards Governance in Chile. In *The Oxford Encyclopedia of Natural Hazards Governance*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.364>
- Shao, Y., Sun, Y., & Zheng, Z. (2023). How Do Comprehensive Territorial Plans Frame Resilience? A Content Analysis of Plans by Major Cities in China. *Sustainability*, 15, 7783. <https://doi.org/10.3390/su15107783>
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2024). Población comunal enero 2024. https://proactiva.subdere.gov.cl/bitstream/handle/123456789/635/1_Poblaci%C3%B3n%20Comunal_vEne24%20%281%29.xlsx?sequence=19&isAllowed=y
- Tate, E. (2012). Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. *Natural Hazards* 63(2), 325-347. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0152-2>
- Techo. (2023). Catastro Nacional de Campamentos 2022-2023. <https://cl.techo.org/wp-content/uploads/sites/9/2023/03/CNC22-23.pdf>
- Vecchio, G., Hernández, P., Bastías, G., Vega, P., Vicuña, M., Moris, R., & Martínez, C. (2022). Vulnerabilidad territorial y capacidad institucional en el litoral central de Chile. En: Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., Fuentes, L. (editores), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales* (pp. 491-504). Serie GEOLibros.
- Vicuña, M. & Schuster, J. (2021). Planificación urbana y gestión del riesgo de desastres: desafíos para instrumentos y mecanismos de planificación urbana y territorial. *Serie Policy Paper CIGIDEN*. https://www.cigiden.cl/wp-content/uploads/2021/07/PP_Planificacion-Urbana-y-GRD_ISBN-Digital.pdf
- Vicuña, M. & León, J. (2022). Desafíos en planificación territorial y resiliencia costera: el caso de la amenaza de tsunamis. En Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., Fuentes, L. (editores), *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales* (pp. 455-466). Serie GEOLibros.
- Villagrán, C., & Soto. (2024). Vías de Evacuación e Infraestructura Crítica para la Gestión del Riesgo de Tsunamis en la ciudad de La Serena, Chile. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 151-170. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.144>

Zenteno, E., Muñoz, P. & Rosso, B. (2022). Urbanización subalterna en tiempos de pandemia. Asentamientos informales en Chile. *Bitácora Urbano Territorial*, 32(2), 267-280. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v32n2.99624>