

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUBSECRETARIA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS
INSTITUTO DE ESTUDIOS URBANOS Y TERRITORIALES &
OBSERVATORIO DE CIUDADES UC

**ESTUDIO DE RIESGO DE SISMIOS Y MAREMOTO PARA
COMUNAS COSTERAS DE LAS REGIONES DE O'HIGGINS Y
DEL MAULE**

**INFORME FINAL DE SÍNTESIS Y
RECOMENDACIONES**

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	4
2	SÍNTESIS FINAL Y MEMORIA	9
2.1	INTRODUCCIÓN DE SÍNTESIS FINAL Y MEMORIA	9
2.2	SÍNTESIS Y MAPAS DE AMENAZAS	11
2.2.1	<i>TSUNAMI</i>	11
2.2.2	<i>INUNDACIÓN</i>	16
2.2.3	<i>REMOCIÓN EN MASA POR SISMO</i>	42
2.2.4	<i>REMOCIÓN EN MASA PLUVIAL</i>	54
2.2.5	<i>LICUEFACCIÓN</i>	63
2.2.6	<i>AMPLITUD SISMICA</i>	69
2.3	SÍNTESIS Y MAPAS DE VULNERABILIDAD	74
2.3.1	<i>Metodología</i>	74
2.3.2	<i>Productos entregados</i>	96
2.3.3	<i>Resultados del análisis de vulnerabilidad</i>	100
2.4	SÍNTESIS Y MAPAS DE RIESGO	111
2.4.1	<i>METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO</i>	111
	<i>ANÁLISIS DE RIESGO PARA POBLACIÓN</i>	117
2.4.2	<i>Productos entregados</i>	117
2.4.3	<i>Resultados del análisis de RIESGO</i>	120
3	RECOMENDACIONES GENERALES	121
3.1	INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES CONCEPTUALES	121
3.1.1	<i>FORMULACION DE RECOMENDACIONES GENERALES</i>	122
3.1.2	<i>TIPO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN</i>	123
3.1.3	<i>TIPO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN</i>	125
3.2	RECOMENDACIONES RESPECTO A LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL (IPT) ..	127
3.2.1	<i>Respecto a las áreas urbanas y rurales</i>	127
3.2.2	<i>Respecto a la zonificación de los IPT, definición de Áreas de Riesgos.</i>	127
3.2.3	<i>Respecto al PERFECCIONAMIENTO DE MAPAS DE RIESGO</i>	129
3.2.4	<i>Respecto al uso del borde costero: zonas de protección</i>	130
3.2.5	<i>Recomendaciones respecto a otro tipo de instrumentos</i>	131
3.3	RECOMENDACIONES DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.	134
3.3.1	<i>Tsunamis</i>	134
3.3.2	<i>Inundaciones Fluviales</i>	150
3.3.3	<i>Remoción En Masa</i>	165
3.3.4	<i>Licuefacción</i>	175
3.3.5	<i>Amplitud Sísmica</i>	179
3.3.6	<i>Resumen Obras de Mitigación</i>	184
3.4	RECOMENDACIONES A SER INCORPORADAS EN LOS PLANES PREVENTIVOS DE EMERGENCIA Y DEFENSA CIVIL	189
3.4.1	<i>SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL</i>	189
3.4.2	<i>DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN DE LOS PLANES DE EMERGENCIA</i>	191
3.4.3	<i>GESTIÓN DE INFORMACIÓN, DIFUSIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA COMUNIDAD.</i>	194
3.4.4	<i>SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y ALERTA</i>	199
3.4.5	<i>PLANES DE EVACUACIÓN</i>	205

3.5	RECOMENDACIONES RESPECTO A LA LOCALIZACIÓN DE EQUIPAMIENTO CRÍTICO E INFRAESTRUCTURA BÁSICA.....	225
3.5.1	<i>Equipamiento Crítico y de Alta Congregación</i>	226
3.5.2	<i>Infraestructura básica.....</i>	229
3.6	RECOMENDACIONES RESPECTO DE OTRAS HERRAMIENTAS QUE PERMITAN A LA SOCIEDAD EN SU CONJUNTO REDUCIR LA VULNERABILIDAD DE LAS PERSONAS Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	234
3.6.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	234
3.6.2	<i>Tipologías de edificación y sistemas constructivos.....</i>	235
3.6.3	<i>Estructuras resistentes para la evacuación vertical.....</i>	240
3.7	RECOMENDACIONES RESPECTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.	241
3.7.1	<i>Síntesis conceptual de recomendaciones para la modernización del sistema de prevención y respuesta de desastres naturales</i>	241
3.7.2	<i>Planes estratégicos estructurados en Zonas de Gestión Integrada</i>	245
3.7.3	<i>Integración y convergencia de instrumentos e institucionalidad</i>	248
4	BIBLIOGRAFÍA.....	250
4.1	BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	250
4.2	BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA MEDIDAS DE MITIGACIÓN	253
4.2.1	<i>BIBLIOGRAFÍA TSUNAMIS.....</i>	253
4.2.2	<i>BIBLIOGRAFÍA INUNDACIONES.....</i>	255
4.2.3	<i>BIBLIOGRAFÍA REMOCIÓN EN MASA</i>	256

ESTUDIO DE RIESGO DE SISMOS Y MAREMOTO PARA COMUNAS COSTERAS DE LAS REGIONES DE O'HIGGINS Y DEL MAULE

INFORME FINAL DE SÍNTESIS Y RECOMENDACIONES

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe final de síntesis y recomendaciones del “Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O’Higgins y del Maule” encargado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior.

El informe final pretende dar cuenta de los antecedentes más relevantes de las dos etapas anteriores (Diagnóstico y Modelaciones) y de las recomendaciones generales y específicas para las 26 localidades de las dos regiones estudiadas.

Como antecedente se puede indicar que la primera etapa de diagnóstico consideró los siguientes componentes: a) Verificación de antecedentes, b) Estado de la planificación, c) Análisis de variables de amenazas, d) Análisis de centros poblados, y e) Análisis de legislación para los instrumentos de planificación territorial. Por su parte, la etapa de Modelaciones incluyó los siguientes componentes: a) Construcción de modelos, b) Modelaciones y mapas de amenazas, c) Determinación de niveles de vulnerabilidad, y d) Determinación de niveles de riesgo.

El actual informe está estructurado en tres capítulos: a) Mapas de síntesis final y memoria, b) Recomendaciones generales, y c) Síntesis por localidad. El capítulo de recomendaciones generales incorpora recomendaciones respecto de los instrumentos de planificación territorial, obras de mitigación, planes de prevención, relocalizaciones de infraestructuras y equipamientos, junto con otras sugerencias que permitan a la sociedad en su conjunto enfrentar las amenazas naturales objeto de estudio. En la Figura 1 se puede observar la estructura de los contenidos del informe final y la integración de contenidos en las síntesis de localidad que incorporarán los principales elementos del diagnóstico, las zonificaciones y las recomendaciones específicas.

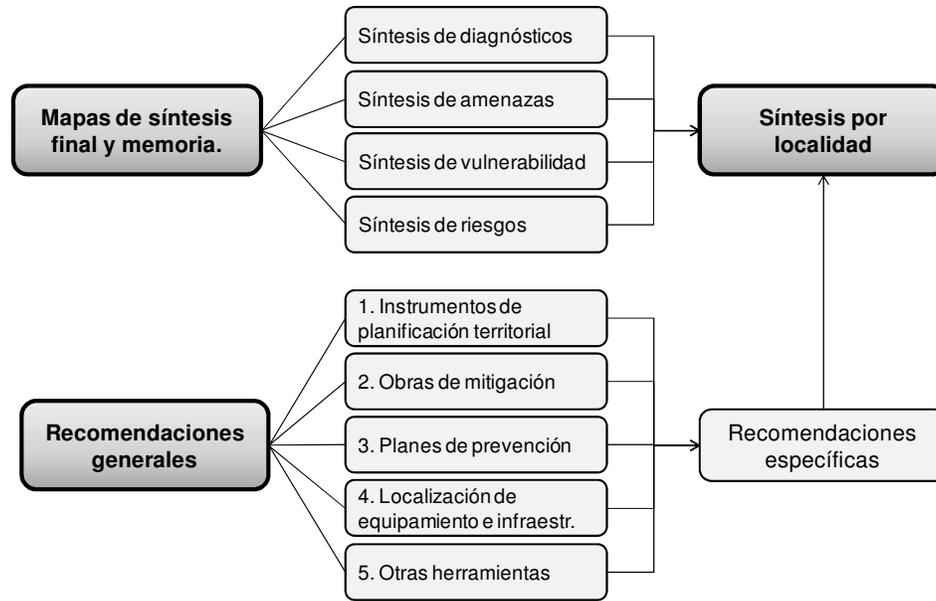


Figura 1. Diagrama de integración de contenidos del informe final

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los conceptos de riesgo

Si bien el informe de diagnóstico contiene las definiciones de los conceptos más relevantes utilizados en el estudio, la

Figura 2 entrega una síntesis de los conceptos clave del presente informe.



Figura 2. Diagrama de integración de contenidos del informe final

Fuente: Elaboración propia

En el marco de esta definición de dos líneas de trabajo respecto de la zonificación para la gestión de riesgos, es que se ha establecido la producción tanto de mapas de amenazas en base a las modelaciones realizadas en el informe anterior y mapas de riesgo que consideran el cruce de los mapas de amenazas con la vulnerabilidad de los territorios y su población.

En la Figura 3 se muestra un diagrama con la información asociada a los mapas que podrían apoyar la prevención y gestión de desastres naturales. En este sentido, se plantea como base esencial de una adecuada política de prevención y gestión de desastres la estructuración de un sistema integrado de información y de instrumentos que apoyen los procesos de toma de decisiones. Como elementos fundamentales y transversales de esta política están los mecanismos y estrategias de comunicación y educación de la población.

Como indica la experiencia internacional, el mejoramiento de estos sistemas estará fuertemente ligado al desarrollo tecnológico y el conocimiento que se tenga del comportamiento del territorio antes estos fenómenos naturales. Sin embargo, el factor de mayor incidencia estará relacionado con el nivel de conocimiento y aprendizaje que tenga la población en cuanto a las decisiones de localización y desarrollo, pero también en cuanto a la capacidad de reacción en eventos críticos.



Figura 3. Diagrama de mapas para la prevención y gestión de desastres.

Fuente: Elaboración propia en base a Ute J. Dymon & Nancy L. Winter, Kent State University / FEMA

Como se indicó anteriormente, el estudio ha desarrollado dos tres líneas de zonificaciones en los territorios de las localidades estudiadas. En primer lugar las modelaciones de amenazas han permitido la generación de los mapas de amenaza de inundación por tsunami, inundación fluvial, remoción en masa por sismo, remoción en masa por lluvia, licuefacción y amplitud sísmica. Como se indica en el diagrama de la Figura 4 estas zonificaciones de amenazas serán insumos para las actualizaciones de los instrumentos de planificación territorial en cada localidad.

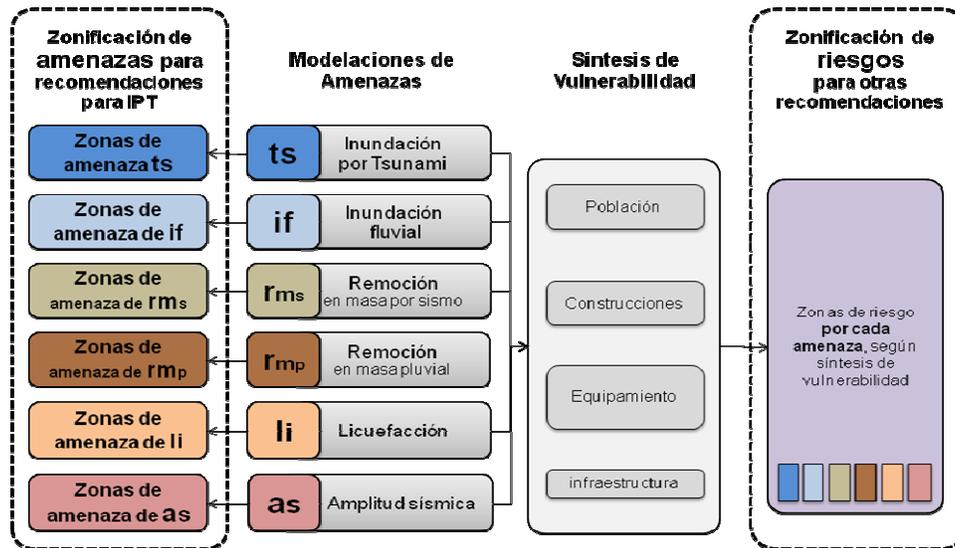


Figura 4 Diagrama de fases para la definición de mapas de amenazas y mapas de riesgo.

Fuente: Elaboración propia en base a Cutter, Mitchell & Scott. University of South Carolina

Por otro lado, se han generado las zonificaciones de riesgos que son producto de los cruces del mapa de síntesis de vulnerabilidad de cada localidad –incluyendo las categorías de población, materialidad de la vivienda, equipamiento e infraestructura- con los planos de amenazas. Estas zonificaciones de riesgo servirán de fundamento para acciones tendientes a disminuir los niveles de riesgo de la población y de las actividades comerciales y de servicio.

Complementariamente, el informe considera la producción de planes de evacuación para cada una de las localidades, las cuales han sido generadas en función de los tiempos de evacuación y la localización de zonas seguras. El estudio también considera recomendaciones en cuanto a obras de mitigación en aquellas localidades que corresponda.

Con el objeto de aportar a la construcción de un sistema integrado de información territorial de riesgos naturales, el estudio ha considerado construcción de tres matrices de análisis que serán entregadas complementariamente para facilitar una posterior actualización de los antecedentes. Como se puede observar en el diagrama de la Figura 5 el estudio ha considerado tres matrices: a) Matriz de datos SIG, que ordena la información disponible por localidad que ha sido cargada en el

sistema de información geográfica; b) Matriz de análisis territorial, que contiene los cálculos de información cruzada que ha sido realizada en el estudio; c) Matriz de síntesis por localidad, que contiene la información más relevante que será parte de cada informe por localidad y que permite contar con una visión general del estudio.

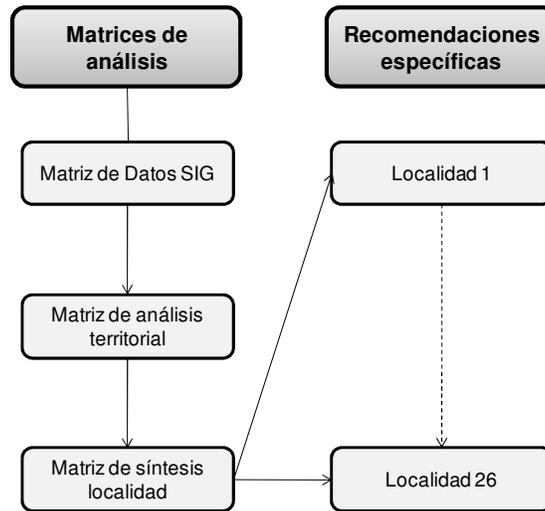


Figura 5: Matrices de antecedentes y análisis

Fuente: Elaboración propia en base a Cutter, Mitchell & Scott. University of South Carolina

2 SÍNTESIS FINAL Y MEMORIA

2.1 INTRODUCCIÓN DE SÍNTESIS FINAL Y MEMORIA

Dentro de las características de los centros poblados presentes en la zona costera de las regiones de O'Higgins y del Maule, la principal es que corresponden con la excepción de las ciudades de Constitución y Pichilemu, a asentamientos menores (pueblos y aldeas) insertos en el medio rural, sin instrumentos de planificación territorial recientes. La mayoría corresponde a localidades rurales de una baja cantidad de población residente, marcada principalmente por la presencia de población adulta, en edad productiva, y con predominio del sexo masculino, lo que probablemente responda a la ligazón de estas localidades con las actividades productivas primarias, como la pesca y al hecho que una parte de la población femenina puede haberse desplazado por razones de trabajo hacia los centros mayores. En las zonas urbanas, en tanto, se observa una mayoría de población de sexo femenino, ligada a las actividades de servicios dominantes en estas áreas. La mayoría de la población y las viviendas se concentra en las dos áreas urbanas principales.

El promedio de años de estudio en el área, en general, no supera los 10 años en las zonas urbanas, mientras en las localidades rurales fluctúa alrededor de los 6 años. Asimismo, el porcentaje de población empleada no supera el 50% en áreas urbanas.

Respecto de los porcentajes de viviendas en condiciones de pobreza, éstos no superan en general el 30%, siendo toda ella del tipo reciente, de acuerdo al método integrado de pobreza. Las viviendas presentan carencias materiales, pero con condiciones mínimas básicas del (jefe de) hogar, que le impiden ser vulnerable y le permite salir de su condición con estrategias y recursos que implican menores esfuerzos que en los casos de la pobreza crítica e inercial.

En términos de disponibilidad de riqueza al interior de los hogares, el indicador bordea los 3 bienes suntuarios (de un máximo de 11), lo que indica que las condiciones socioeconómicas del área de estudio son más bien bajas.

Respecto de la infraestructura, tanto privada (viviendas) como pública, se observa que los materiales predominantes en la estructura de la vivienda (respecto del piso, techo y muros) son en general radier, pizarreño y adobe y madera, respectivamente, lo que indica una materialidad poco eficiente frente a los riesgos naturales.

En general, en las zonas urbanas las viviendas cuentan con disponibilidad de servicios básicos, provistos por la red pública (alcantarillado, agua potable y electricidad). En las localidades rurales, en cambio, se observan valores más bajos de cobertura de estos servicios.

Dentro de las actividades productivas de la zona en general, se evidencia una preponderancia del comercio para satisfacción de necesidades diarias y básicas (alimentación), presencia de actividad turística en algunas localidades (alimentación y hospedaje) y principalmente pesca artesanal.

En términos de presencia de infraestructura pública, lo principal es la existencia de postas rurales, consultorios y hospitales en diversas localidades, en ambas regiones, mientras la presencia de carabineros, bomberos e instalaciones municipales se concentra en ciertas localidades, principalmente en aquellas de carácter urbano y, por consiguiente, con mayor número de habitantes.

Todos estos antecedentes ponen en evidencia una cierta vulnerabilidad de las localidades en cuestión ante riesgos naturales de diversa índole, dentro de los que se incluyen los riesgos de inundación por tsunami y los sismos de gran magnitud, como los ocurridos el pasado 27 de febrero de 2010. Esta vulnerabilidad debe entenderse desde la materialidad de las estructuras presentes en el borde costero, debido a que no necesariamente son las adecuadas para enfrentar eventos de esta importancia. Por otra parte, esta vulnerabilidad debe entenderse también desde las actividades económicas en que se desempeña la población, ya que al ser relevante la pesca, por ejemplo, se requiere de una localización permanente cercana al mar (la fuente de recursos), es decir, en el borde costero. También esta vulnerabilidad debe entenderse desde el punto de vista de la gestión del riesgo, ya que instituciones que podrían aportar en este proceso, como bomberos, armada y/o carabineros, muestran una presencia en el área de estudio pero con difícil acceso a cada localidad en algunos casos. La sola existencia de estos actores representa una oportunidad en el sector ya que podrían jugar un rol clave siempre y cuando estuviesen bien articulados e instruidos respecto a los riesgos naturales potenciales de sus zonas.

Además, se aprecia una falta de estructuras naturales como dunas, y antrópicas como plantaciones y muros de contención, que ayuden a la mitigación y prevención de daños ante los riesgos de tsunamis.

Con la información recopilada de cada localidad se puede desarrollar un análisis de la vulnerabilidad de cada elemento, y una posterior síntesis de vulnerabilidad de cada localidad.

Con la modelación de cada amenaza se pueden determinar las zonas expuestas a peligros naturales, lo cual también entrega una caracterización de las localidades.

El análisis de vulnerabilidad junto con la modelación de las diferentes amenazas, permiten generar mapas de riesgo, ante cada una de las amenazas.

Las síntesis por localidad contienen los mapas y memorias de diagnóstico, modelación de amenazas, análisis de vulnerabilidad y riesgo.

A continuación se presentan las metodologías utilizadas para analizar las amenazas, vulnerabilidad y riesgo de cada localidad, como la confección de la planimetría. También se presentan los resultados generales de estos análisis.

2.2 SÍNTESIS Y MAPAS DE AMENAZAS

2.2.1 TSUNAMI

Para la construcción de un modelo que permita espacializar la amenaza de maremoto, se necesita un escenario creíble y datos que permitan validarlo. Dada la baja ocurrencia de estos eventos y el alto impacto que generan cuando se manifiestan en las costas, la experiencia internacional, en un enfoque determinístico, recomienda utilizar el peor escenario creíble, debido a la incertidumbre asociada a su recurrencia, como también a la probabilidad de que su génesis sea distante a las costas afectadas. El reciente terremoto generador del maremoto del 27 de febrero de 2010, fue un evento más grande de lo esperado. Efectivamente se esperaba un terremoto y tsunami de menor magnitud, similar al evento del 20 de febrero de 1835. Este hecho, hace que el reciente maremoto de 2010, se transforme en un escenario excepcional, un peor escenario absolutamente creíble para las costas de las regiones de O'Higgins y Maule. Por lo anterior, este evento es el escenario rector para la definición del peligro de tsunami en el presente estudio.

La modelación de la amenaza de maremoto, combinó técnicas de modelación numérica y datos observados del reciente tsunami de 2010. Para la modelación numérica de tsunami, se utilizó un terremoto de subducción con parámetros macro-sísmicos del evento del 27 de febrero de 2010 y un deslizamiento uniforme en el plano de falla (Ver Tabla 1).

1	Longitud, (km)	450
2	Ancho, (km)	150
3	Deslizamiento, (m)	10
4	Rumbo, (°)	16.13
5	Echado, (°)	14.84
6	Ángulo, (°)	104
7	Profundidad, (km)	30
8	Latitud*, (°S)	36.07
9	Longitud*, (°W)	74.08
10	Momento sísmico M_0 (Nm)	1.755×10^{22}
11	Magnitud M_w	8.8

Tabla 1 Parámetros macro-sísmicos utilizados para la modelación numérica de tsunami

Fuente: USGS, 2010; Barrientos, 2010.

La modelación del comportamiento del tsunami en el Océano, utilizó información batimétrica disponible de baja resolución, simulándose la generación, propagación y determinación de la máxima altura de tsunami esperada en las cercanías de la costa. Estos resultados permitieron focalizar el trabajo de terreno donde se identificaron las máximas alturas de tsunami producidas por el evento de 2010, en todas las localidades en estudio localizadas en la costa de las regiones de O'Higgins y Maule.

Para identificar las alturas del tsunami de 2010 en las localidades afectadas, se entrevistó a sobrevivientes y se localizó los sitios más afectados con el apoyo de fotografías aéreas e imágenes de satélite. La medición de las alturas de tsunami se realizó combinando el uso de estaciones totales, GPS geodésicos y telémetros láser. La Figura 6 y Figura 7 muestran ejemplos del levantamiento de información en terreno.



Figura 6 Midiendo con estación total alturas máxima de tsunami en las costas de la ciudad de Constitución, Región del Maule.

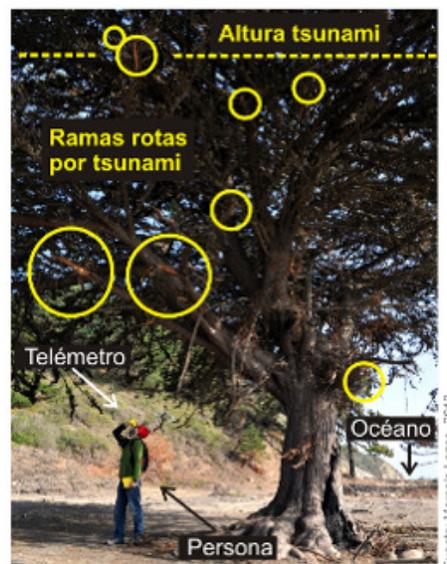


Figura 7 Midiendo con telémetro láser la profundidad de inundación de tsunami en las costas de Topocalma, Comuna de Litueche, Región de O'Higgins

Las máximas alturas de tsunami identificadas en las localidades costeras, fueron el input principal para identificar la cota de inundación y espacializar la amenaza de tsunami. Se debe considerar que el tsunami de febrero de 2010, arribo a las costas en la fase de marea baja (Ver Figura 8), por lo que las alturas de ola registradas fueron menores de lo que podrían haber sido en una fase de marea alta. Por lo anterior, de modo de no subestimar la peligrosidad de un tsunami, las alturas de tsunami identificadas en terreno fueron corregidas a la condición de marea del 27 de febrero de 2010, agregándoseles el rango de la marea en sicigias¹ y ponderando el resultado por un factor de incertidumbre de 1.3². El resultado final se traduce en una cota de peligrosidad que diferencia el umbral entre la seguridad y el riesgo.

Como antecedente, la Tabla 2 muestra los rangos de la marea en sicigias en localidades costeras de las regiones de O'Higgins y Maule. El rango máximo se presenta en la Bahía de Topocalma, alcanzando 1,80 metros, y el rango mínimo lo posee la Bahía de Curanipe con 1,20 metros (SHOA, 2003).

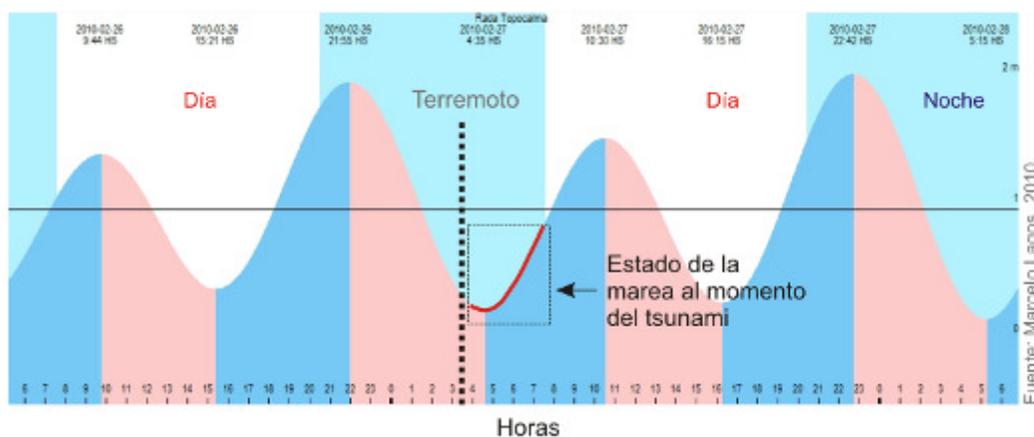


Figura 8 Estado de la marea al momento del arribo del tsunami de 2010 en la Bahía de Topocalma, Comuna de Litueche, Región de O'Higgins.

¹ Se denominan sicigias a las fases de luna llena o nueva. En estos días coinciden la marea solar y marea lunar; debido a que la luna, el sol y la Tierra se encuentran en línea recta en la esfera celeste, produciéndose mareas altas más altas y mareas bajas más bajas que lo usual, dando por resultado un mayor rango de marea en estas fechas (SHOA, 1999). Las alturas de un tsunami arribando a las costas durante una pleamar de sicigia, son el escenario de mayor peligrosidad para asentamientos costeros donde el rango mareal es importante.

² La Agencia Federal para la Administración de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA) en conjunto con el Programa Nacional para la Mitigación del Peligro de Tsunami de NOAA (NTHMP) recomiendan ponderar por 1.3 el valor máximo seleccionado del nivel de inundación alcanzado por un tsunami (runup), debido a los efectos locales que producen la batimetría y topografía, y las incertezas derivadas del uso de simulaciones numéricas. El valor de incertidumbre 1.3 se basa en observaciones empíricas de tsunamis pasados (FEMA & NOAA, 2008).

Localidad	Localización		Rango de la marea en sicgias (m)
	Latitud °S	Longitud °W	
Bahía de Topocalma	34 08	72 01	1,80
Bahía de Pichilemu	34 23	71 59	1,52
Bahía de Llico	34 45	72 06	1,70
Puerto de Constitución	35 20	72 25	1,66
Bahía de Curanipe	35 51	72 38	1,20

Tabla 2 Rangos de la marea de sicgias en localidades costeras de las regiones de O'Higgins y Maule.

Una vez definida la cota de inundación máxima por tsunami para cada localidad, se espacializó el resultado en mapas mediante la proyección de la cota por su respectiva curva de nivel. Para ello, se utilizó topografía digital LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) con resolución espacial inferior a un metro. Finalmente, mediante transectas perpendiculares a la línea de costa, se relacionan la altura máxima del tsunami con la topografía de detalle, estableciendo niveles de peligrosidad diferenciados a partir de la profundidad de inundación sobre el terreno (Ver Figura 4), utilizando como referencia parámetros de daño propuestos por Shuto (1993) y Koshimura & Yanagisawa (2007).

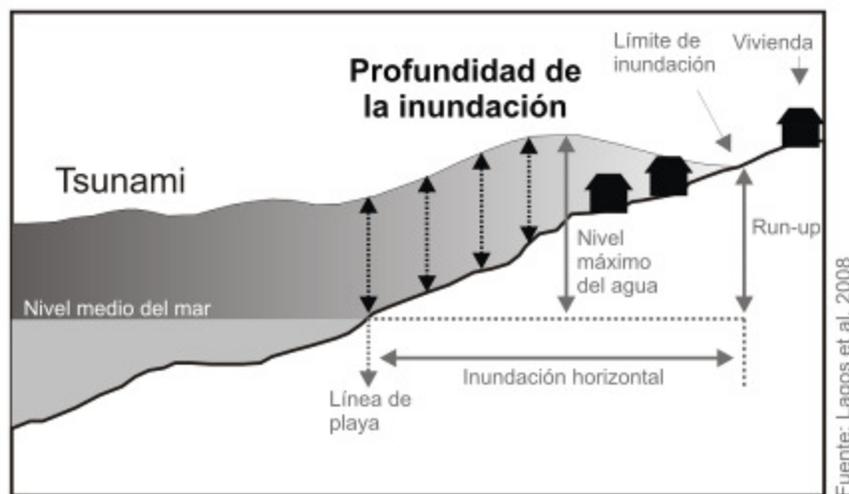


Figura 9 Profundidad de inundación por tsunami

La definición de áreas de inundación por tsunami basadas en el reciente evento del 27 de febrero de 2010, son una aproximación robusta para considerar el potencial comportamiento de futuros tsunamis en las costas de las regiones de O'Higgins y Maule. Considerando que este evento posee características excepcionales, en cuanto a la magnitud del terremoto generador, como también a las alturas de ola registradas en las costas, su uso como evento rector asigna objetividad a los potenciales escenarios de peligrosidad.

El uso de técnicas de simulación numérica es una primera estimación de la magnitud del tsunami en las costas, se debe considerar que la modelación, considera generación, propagación y cálculo

de altura de tsunami antes de arribar a la costa. Resultado que es validado con los datos de alturas de ola medidos en terreno en cada localidad. La modelación no incluye simulación de inundación, dado que esta última requiere batimetría de alta resolución.

La consideración del rango de la marea en sicigias y la ponderación por un factor de incertidumbre, permiten tener la certeza que se está considerando un tsunami de características excepcionales. La Figura 10 sintetiza la metodología utilizada para espacializar el peligro de tsunami.

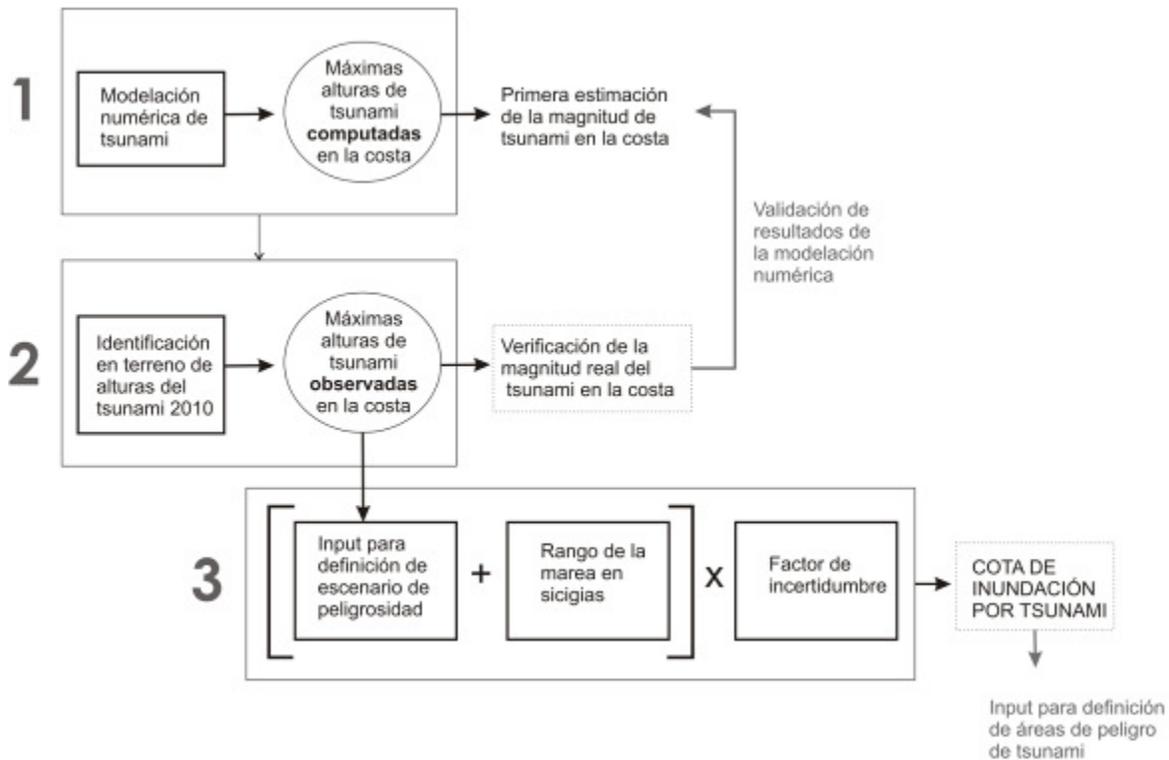


Figura 10 Modelo utilizado para espacializar la amenaza de tsunami.

2.2.2 INUNDACIÓN

La mayoría de las localidades costeras emplazadas en desembocaduras de esteros de las regiones VI y VII han sufrido inundaciones asociadas a fenómenos hidro-meteorológicos con una recurrencia que aparentemente ha ido en aumento³. Por consiguiente, es fundamental analizar las amenazas asociados a este tipo de eventos. Específicamente, los antecedentes recopilados evidencian lo siguiente:

- Las inundaciones en la zona de estudio explicadas por fenómenos hidro-meteorológicos ocurren periódicamente, con una frecuencia mayor a las de otros eventos naturales catastróficos. La magnitud de las crecidas sin embargo es variable y está definida por una probabilidad de ocurrencia.
- Se han verificado cambios del nivel de terreno producto del sismo del 27 de febrero de 2010, así como modificaciones importantes en los cauces naturales y desembocaduras debido a fenómenos de erosión y depositación de sedimentos provocados por el tsunami producido por el terremoto.

Si bien las inundaciones hidrológicas son eventos naturales, sus consecuencias son muchas veces amplificadas por una mala integración de los asentamientos humanos con el entorno. Ejemplo de esto son la ubicación descontrolada de poblados en las proximidades de cauces, la alteración e impermeabilización del sistema de drenaje natural, y la falta de medidas de control para evitar los impactos en la morfología y ecología de los cauces

Para una correcta caracterización de las inundaciones, su probabilidad de ocurrencia y sus efectos, se debe recurrir a una modelación hidrológica-hidráulica. La modelación hidrológica permite estimar los caudales y volúmenes de escorrentía en los distintos cauces de cada cuenca y las correspondientes probabilidades de ocurrencia. La modelación hidráulica permite estimar las alturas de aguas y la velocidad del escurrimiento asociada a estos caudales en secciones específicas del cauce, de manera que se puede determinar las zonas de la planicie de inundación que serán afectadas por el flujo de agua⁴⁵.

³ La afirmación presentada son obtenidos de los antecedentes recabados en la primera etapa del estudio (Informe de Diagnóstico).

⁴ Los resultados de esta modelación integrada permiten vincular las variables hidráulicas directamente relacionadas con los riesgos y daños (altura de agua y velocidad) con probabilidades de ocurrencia

⁵ Cada una de las modelaciones presentadas en este apartado son descrita es en el Informe de Modelaciones de este estudio.

2.2.2.1 Modelación Hidrológica

2.2.2.2 Definición y clasificación de cuencas y cauces para la modelación hidrológica

La metodología adoptada para la modelación hidrológica de las cuencas drenadas por los cauces de interés en la región de estudio varía dependiendo del cauce. Así entonces, del grupo de cauces identificados en el informe de diagnóstico (Tabla 3), podemos distinguir los que poseen instrumentación con registros fluviométricos y los que no los poseen, que en su mayoría son de una envergadura mucho menor a los instrumentados y deben ser modelados hidrológicamente para conocer sus caudales. A continuación se enuncian la totalidad de los cauces identificados previamente con sus respectivas áreas de cuencas aportantes.

Cauce	Poblado asociado	Coordenada UTM Desembocadura		Área Cuenca (Km2)
		Norte	Este	
Estero Navidad	Las Brisas	6241343	236576	49,4
Sin dato	Matanzas	6238320	234246	7,2
Estero Pupuya	Pupuya	6235563	233664	50,1
Sin dato	Puertecillo	6227156	228519	10,9
Sin dato	Puertecillo	6226211	228422	6,2
Laguna Petrel	Pichilemu	6191330	775622	198,5
Estero Nilahue	Cahuil	6180664	773318	1.772,4
Estero Paredones	Bucalemu	6162845	771029	217,2
Laguna Boyecura	Boyeruca	6157678	769847	287,6
Laguna de Llico	Llico	6150283	767026	483,5
Estero Pichibudi	Duao	6136732	759803	40,2
Estero Iloca	Iloca	6129020	756978	37,7
Maule	Constitución	6088511	735513	15.696,7
Estero Malhueco	Las Cañas	6073120	728279	61,6
Estero Los Pellines	Pellines	6071354	726359	23,8
Río Loanco	Loanco	6061769	715915	231,4
Río Curanilahue	Pelluhue	6035250	719639	118,9
Río Curanipe	Curanipe	6030829	713550	37,1
Estero El Parrón	Curanipe	6030645	713364	11,2
Sin dato	Chovellén	6027602	710676	4,3
Río Chovellén	Chovellén	6027147	710093	214,5

Tabla 3: Selección de cauces para modelación hidrológica.

Fuente: Elaboración propia, 2010

Para todos los tipos de cauces se calculó la cuenca aportante utilizando ArcGIS y un modelo de elevación digital de la zona (MED). Este MED tiene una resolución de 3 arco-segundos (es decir, la topografía es representada mediante una grilla de cuadros de aproximadamente 90 m de lado) y fue obtenido del United States Geological Service (USGS) a través del sitio web <http://seamless.usgs.gov/>. La Figura 11 presenta el MED para parte de la zona de estudio.

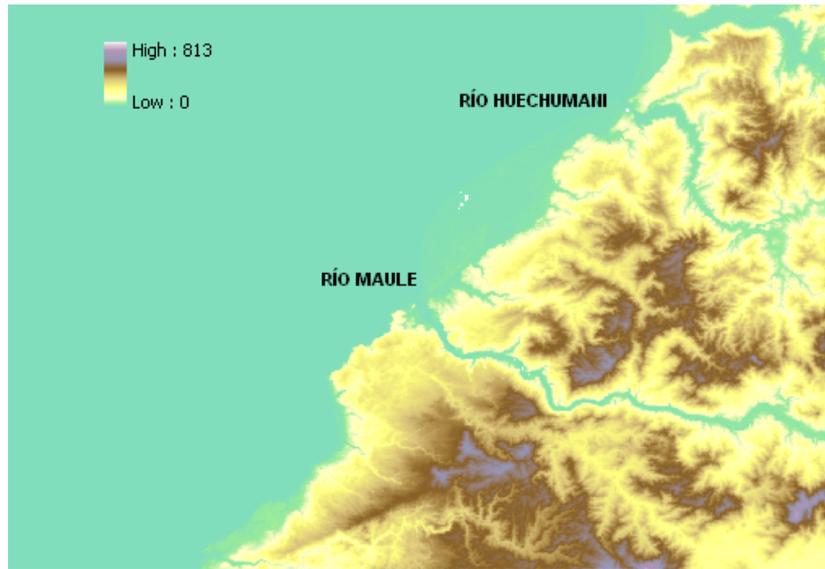


Figura 11: Modelo de elevación digital para la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia. Modelo de elevación obtenido de United States Geological Service (USGS).

Tras el procesamiento inicial de la información topográfica se pueden delimitar las cuencas aportantes, el correspondiente cauce principal y los respectivos tributarios. La Figura 12 ilustra el delineamiento de cuencas y la Figura 13 muestra la visualización de la red de drenaje de una cuenca en la zona de estudio.

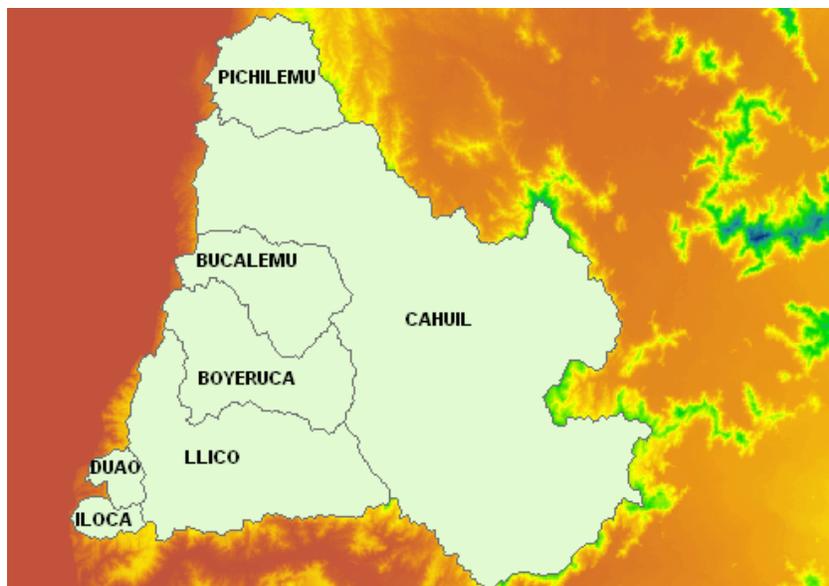


Figura 12: Ejemplo de delimitación de cuencas.

Fuente: Elaboración propia. Modelo de elevación obtenido de United States Geological Service (USGS).

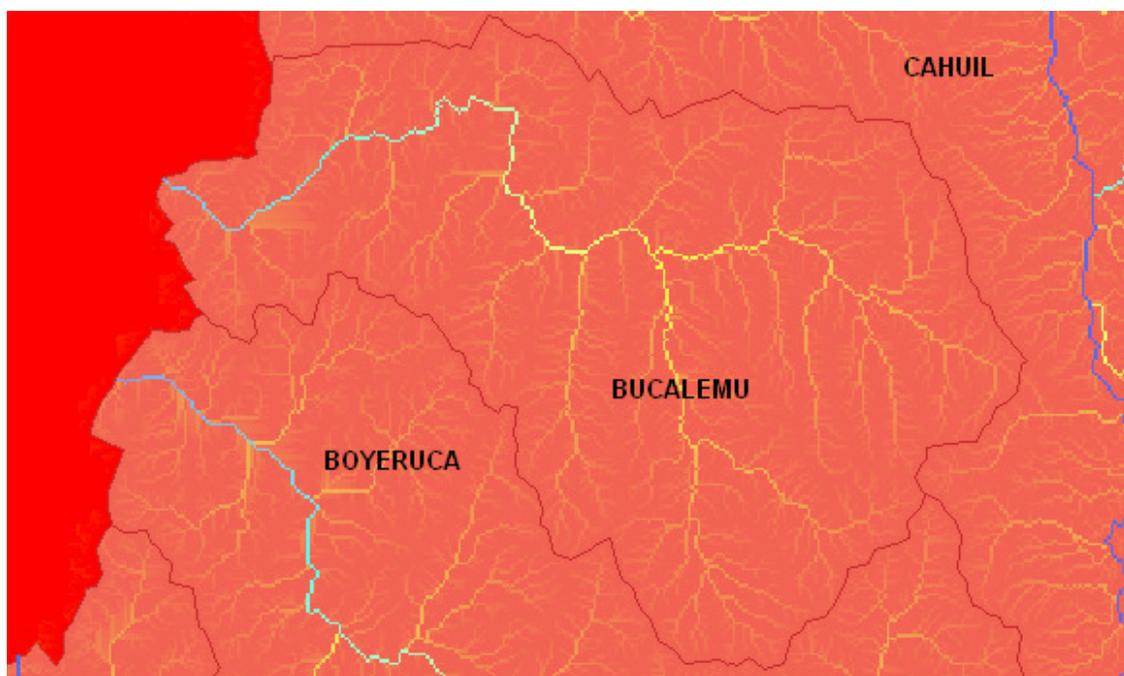


Figura 13: Ejemplo de red de drenaje extraída a partir del Modelo de Elevación Digital.

Fuente: Elaboración propia. Modelo de elevación obtenido de United States Geological Service (USGS).

Cauces instrumentados con registros fluviométricos.

El levantamiento inicial de información de relevancia para las localidades en zona de estudio demostró que existen muy pocas estaciones fluviométricas con registros de caudales (Tabla 4). Por lo tanto, para las cuencas drenadas por estos cauces (i.e. Estero Nilahue, Río Mataquito, Río Maule y Río Loanco) no se necesita un modelo determinístico y simplemente se hizo un análisis de frecuencia de los caudales históricos para determinar los caudales asociados a las distintas probabilidades de ocurrencia o períodos de retorno, requiriéndose de la posterior modelación hidráulica para determinar las zonas de inundación.

Nombre Estación	Región	Fechas		Altura msnm	Coord. UTM		Cercanía al mar	
		Primer dato	Último dato		Norte	Este	Km (directo)	Km (por cauce)
Estero Nilahue en Santa Teresa	VI	jul-85	actual	50	6171429	244637	24,6	41,6
Río Mataquito en Licanten	VII	ene-87	actual	0	6125054	773116	16,5	28,5
Río Maule en Forel	VII	ene-85	actual	6	6077620	734568	21,8	26,4
Río Loanco en Desembocadura	VII	jul-87	actual	20	6061115	719018	1,9	2,6

Tabla 4: Estaciones fluviométricas relacionadas con las localidades consideradas en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia. Datos de estaciones disponibles a través de Dirección General de Aguas.

Cauces no instrumentados de menor envergadura.

Si bien estos cauces son de menor envergadura que los que sí poseen mediciones, son comunes las inundaciones en las localidades atingentes a este estudio las inundaciones por rápidas crecidas de estos cuerpos de agua, producidas por precipitaciones en la zona.

Para el caso de estos cauces se hace necesaria una modelación hidrológica lluvia-escorrentía semi-empírica. Junto a esta modelación hidrológica, nuevamente es necesario una modelación hidráulica para determinar las correspondientes amenazas. La modelación hidrológica lluvia-escorrentía propuesta para las cuencas drenadas por estos cauces considera las siguientes 3 etapas:

- **Etapla 1:** Modelación de precipitaciones: Modelación estadística de las precipitaciones de modo de generar lluvias de diseño de una cierta duración y una cierta probabilidad de ocurrencia.
- **Etapla 2:** Modelación de la generación de escorrentía (o precipitación efectiva): Simulación de los principales procesos de abstracción (intercepción y almacenamiento superficial, e infiltración) para generar la escorrentía.

- **Etapa 3:** Modelación del hidrograma de crecida: Simulación de la agregación y propagación de caudales hacia la salida de la cuenca.

2.2.2.3 Modelación de precipitaciones

Dado que la metodología propuesta supone la igualdad entre la frecuencia de la crecida y la precipitación que la produce, se los eventos de lluvias en forma probabilística. Esta suposición en general implica una situación conservadora desde la perspectiva del diseño y análisis hidrológico, pero ignora la dinámica hidrológica compleja que ocurre en la cuenca (MINVU y DICTUC, 1996). Una metodología ampliamente utilizada para este propósito es el uso de las curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF). Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para definir lluvias de diseño con una cierta probabilidad de ocurrencia (MINVU y DICTUC, 1996). Un método para definir las curvas IDF es el propuesto por Varas y Sánchez (MINVU y DICTUC, 1996) el cual permite estimar la magnitud de lluvias de diferentes períodos de retorno y duración en función de la lluvia de 24 horas de 10 años de período de retorno, P_{24}^{10} . A partir de este valor se estiman valores asociados a otras duraciones y a otras frecuencias, haciendo uso de coeficientes de duración (CD_t) y de frecuencia (CF^T). El CD_t se define como la razón entre la lluvia de una duración t dada (en horas) y la lluvia de 24 horas de la misma frecuencia. El CF^T se define como la razón entre la lluvia de una determinada frecuencia o periodo de retorno T y la lluvia de 10 años de período de retorno de la misma duración. El procedimiento es utilizable en la zona central y el sur de Chile entregando estimaciones de lluvia para diseños hidráulicos en zonas con información escasa. La expresión para estimar la lluvia de cualquier duración t y período de retorno T , P_t^T está dada por:

$$P_t^T = 1.1 \cdot P_{24}^{10} \cdot CD_t \cdot CF^T \quad (1)$$

Las precipitaciones son bastante similares a lo largo de toda la zona de estudio. Por lo tanto, se decidió utilizar la precipitación de una localidad representativa (Constitución) para estimar los eventos de precipitación para la modelación hidrológica. El valor de P_{24}^{10} para esta localidad es de 119.6 mm, y los valores de CD_t y CF^T se presentan en la Tabla 5 y la Tabla 6.

Periodo de retorno (años)				
2	5	10	20	100
CF=0.62	CF=0.85	CF=1	CF=1.14	CF=1.48

Tabla 5: Coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración (fuente MINVU y DICTUC, 1996)

Duración (horas)									
1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
CD=0.19	CD=0.3	CD=0.38	CD=0.47	CD=0.56	CD=0.64	CD=0.7	CD=0.77	CD=0.89	CD=1

Tabla 6: Coeficientes de duración para lluvias de igual periodo de retorno (fuente MINVU y DICTUC, 1996)

La precipitación total se estimó para períodos de retorno T = 5, 10, 20, 50 y 100 años, y duraciones de 1, 2, 5, 10, 24 horas. Dichas precipitaciones se presentan en la Tabla 7.

Duración (hr)	Periodo de retorno (años)				
	5	10	20	50	100
1	21.2	25.0	28.5	33.2	37.0
2	33.5	39.5	45.0	52.5	58.4
5	47.5	55.9	63.7	74.4	82.8
10	71.6	84.2	96.0	112.0	124.6
24	111.8	131.6	150.0	175.0	194.7

Tabla 7: Precipitaciones totales (mm) para distintos períodos de retorno y duraciones utilizadas en el estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2010

La modelación hidrológica a través de las etapas 2 y 3 previamente descritas requiere de eventos sintéticos de precipitación. Por lo tanto, se propone definir histogramas sintéticos de precipitación asociados a cada una de las magnitudes de la Tabla 7. Para tal propósito se utilizó el método del bloque alterno para generar eventos discretizados a nivel horario. Según este método la primera hora más lluviosa, las dos primeras horas más lluviosas, y así sucesivamente, se definen según las curvas IDF. De esta manera, para un mismo período de retorno, a mayor duración de los eventos, se tiene una mayor magnitud total pero una menor magnitud promedio. Los pulsos horarios de los distintos eventos sintéticos se ubican de modo que el pulso de mayor intensidad ocurre al centro de la tormenta y los otros se alternan a cada lado. A modo de ejemplo, la Figura 14 muestra la lluvia sintética de 50 años de período de retorno y 10 horas de duración.

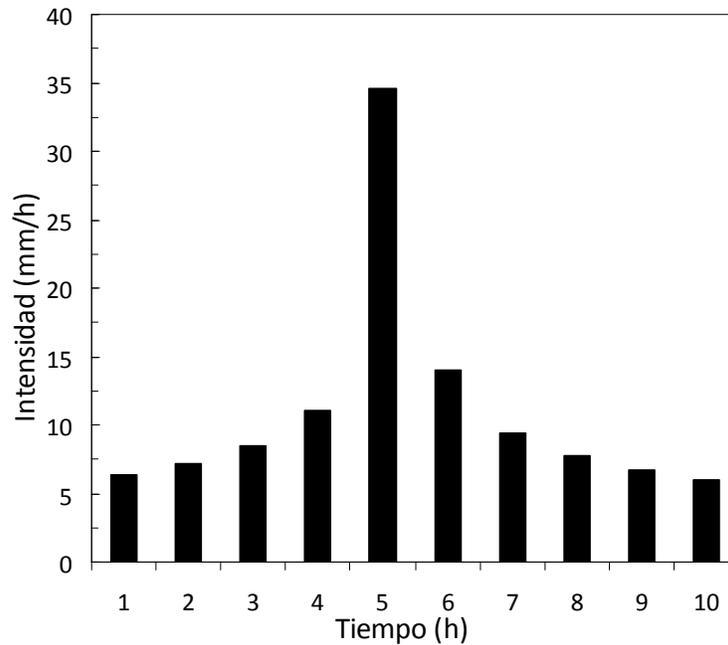


Figura 14: Evento sintético de precipitación de 50 años de periodo de retorno y 10 horas de duración.

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.2.4 Modelación de la generación de escorrentía

Para la modelación de generación de escorrentía se acoplaron un modelo simple de retención e interceptación junto con el modelo de Green-Ampt para el cálculo de infiltración. Estos dos modelos actúan sobre las precipitaciones caracterizadas a través de los eventos sintéticos.

El modelo de retención superficial e interceptación elimina una cierta altura de precipitación (denominada retención) de manera de representar el agua de lluvia que es interceptada por la vegetación o que no escurre debido a que queda atrapada en pequeñas depresiones del suelo. En el presente estudio se utilizó los valores propuestos por Hicks (Bedient y Huber, 2002)⁶ (

Tabla 8).

Tipo de Suelo	Retención inicial (mm)
Arena	5
Marga	3,8
Arcilla	2,5

⁶ En la literatura se proponen muchos valores de detención como función de distintas variables tales como la textura del suelo y el relieve

Tabla 8: Retención inicial para distintos tipos de suelo, según Hicks (Bedient y Huber, 2002)

El modelo de infiltración de Green-Ampt es un modelo de base física que asume que el agua infiltrada penetra en el suelo en la forma de un frente mojado saturado, por lo que tanto la ecuaciones de continuidad y flujo en medios porosos saturados son válidas (Chow et al., 1988). En la aplicación de este modelo a la modelación hidrológica, se considera además que la generación de escorrentía comienza cuando la intensidad de la lluvia es igual a la tasa de infiltración.

Para este estudio la simulación tanto de la retención superficial como la infiltración se implementaron en el modelo SWMM (Storm Water Management Model) (Rossman, 2009)⁷. La información necesaria sobre los tipos de suelo existentes en el área de estudio que permite definir los parámetros de infiltración en el modelo de Green-Ampt, se obtuvo a partir de las ortofotos a escala 1:20.000 de suelos para las regiones VI y VII publicadas por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).

Modelación del hidrograma de crecida.

Para la modelación hidrológica de los cauces no identificados en la Tabla 4, se utilizaron dos modelos conceptuales para determinar los hidrogramas de crecidas producidos por las tormentas de diseño y sus respectivas probabilidades de ocurrencia. Estos son los modelos SWMM (Storm Water Management Model) (Rossman, 2009) y el método del Hidrograma Unitario Sintético (Snyder, 1938) adaptados a las condiciones de la zona de estudio según lo propuesto por Rodríguez (1974)⁸.

2.2.2.5 Síntesis de metodología de modelación hidrológica para los cauces de interés

La Tabla 21 resume la (o las) metodología(s) adoptada(s) para la modelación hidrológica según lo presentado previamente. Además señala los casos donde se realizó una modelación hidráulica de los cauces. Para el resto de los cauces se considerará Informes de Planificación Territorial (IPT) en la elaboración de las zonas de inundación. Si bien estos informes no indican la metodología adoptada para la demarcación de la zona de inundación, se puede asumir que la estrategia comunal en la elaboración es más conceptual y aproximada. De este modo, para efecto de los objetivos de este estudio, se recomienda no construir dentro de la zona de inundación definida en los IPT. Así entonces, debe entenderse que los caudales calculados para los cauces definidos en los IPT no serán utilizados directamente en la determinación de zonas de inundación. Sin embargo, se considera la estimación de estos caudales de crecida como un aporte valioso de este estudio para futuros trabajos que pudiesen requerir de esta información.

⁷ Descrito en el informe de Modelaciones

⁸ Ambos modelos están descritos en el Informe de Modelaciones

Localidades afectadas	Cauce	Modelación a aplicar	Herramienta de modelación utilizada
Las Brisas	Estero Navidad	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Matanzas	Estero de Matanza	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Pupuya	Estero Pupuya	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM – HECGEO-RAS
Puertecillo	Puertecillos estero norte	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Puertecillo	Puertecillos estero sur	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Pichilemu	Laguna Petrel	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM – HECGEO-RAS
Cahuil	Estero Nilahue	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM – Modelo probabilístico (*) – HECGEO-RAS
Bucalemu	Estero Paredones	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM – HECGEO-RAS
Boyeruca	Laguna Boyeruca	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Llico	Laguna Llico	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM - HECGEO-RAS
Duao	Estero Pichibudi	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Iloca	Estero Iloca	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Constitución	Maule	Hidrológica estadística - Hidráulica	Modelo probabilístico (**)- HECGEO-RAS
Las Cañas	Estero Malhueco	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético SWMM – HECGEO-RAS
Pellines	Estero Los Pellines	Hidrológica-Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético – HECGEO-RAS
Loanco	Río Loanco	Hidrológica	Modelo probabilístico (**)
Pelluhue	Río Curanilahue	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético- SWMM - HECGEO-RAS
Curanipe	Río Curanipe	Hidrológica - Hidráulica	Hidrograma Unitario Sintético – SWMM – HECGEO-RAS
Curanipe	Estero El Parrón	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Chovellén	Estero en Chovellén	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético
Chovellén	Río Chovellén	Hidrológica	Hidrograma Unitario Sintético -SWMM

Tabla 9: Metodología adoptada para la modelación hidrológica/hidráulica de los cauces de la zona de estudio

(*) ESSBIO S.A. (2010). Embalse Nilahue. Declaración de Impacto Ambiental (DIA) disponible en el sitio WEB de Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (<https://www.e-seia.cl>)

(**) Aguilera, M. A. (2007). Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca.

2.2.2.6 Validación y resumen de resultados hidrológicos

Como es de esperar, los caudales asociados a una misma probabilidad de ocurrencia calculados con los distintos modelos hidrológicos y para distintas duraciones, difieren. Sin embargo, las diferencias se mantienen en un rango razonable y se hacen menos importantes para periodos de retorno más alto. Dado que el estudio busca definir los riesgos asociados a crecidas, se propone un enfoque conservador según el cual se adopta el caudal máximo producido por cualquiera de los métodos, y para cualquier duración, para cada periodo de retorno. La Tabla 10 resume los caudales máximos para distintos periodos de retorno en cada uno de los cauces de la zona en estudio. Se propone utilizar estos caudales en la determinación del eje hidráulico y la zona de inundación mediante un método hidráulico en caso de disponerse de una batimetría, u otra metodología simplificada en los casos donde no se cuente con información.

Localidades afectadas	Cauce	Área Cuenca (Km ²)	Q _{max} (m ³ /s) T = 5 años	Q _{max} (m ³ /s) T = 10 años	Q _{max} (m ³ /s) T = 20 años	Q _{max} (m ³ /s) T = 50 años	Q _{max} (m ³ /s) T = 100 años
Las Brisas	Estero Navidad	49,4	90.8	106.8	121.7	142.0	158.1
Matanzas	Estero de Matanza	7,2	22.8	26.8	30.6	35.7	39.7
Pupuya	Estero Pupuya	50,1	101.6	119.5	136.2	167.3	202.1
Puertecillo	Puertecillos estero norte	10,9	24.6	28.9	33.0	38.5	42.8
Puertecillo	Puertecillos estero sur	6,2	21.6	25.4	29.0	33.8	37.6
Pichilemu	Laguna Petrel	198,5	304.6	358.3	408.5	476.6	530.4
Cahuil	Estero Nilahue	1.772	985	1.158	1.321	1599	2063
Bucalemu	Estero Paredones	217,2	284.9	335.1	382.1	445.7	496.0
Boyeruca	Laguna Boyeruca	287,6	363.5	427.6	487.5	568.7	633.0
Llico	Laguna Llico	483,5	246.7	290.2	330.9	386.1	429.6
Duao	Estero Pichibudi	40,2	89.2	105.0	119.7	139.6	155.4
Iloca	Estero Iloca	37,7	78.6	92.5	105.5	123.1	137.0
Constitución	Maule	15.696,70	9337	12687	15891	20039	23147
Las Cañas	Estero Malhueco	61,6	108.4	127.5	145.4	169.6	197.7
Pellines	Estero Los Pellines	23,8	53.8	63.3	72.2	84.2	93.7
Loanco	Río Loanco	231,4	500	667	825	1029	1183
Pelluhue	Río Curanilahue	118,9	199.9	235.2	268.2	312.8	348.2
Curanipe	Río Curanipe	37,1	75.1	89.8	114.7	149.5	177.4
Curanipe	Estero El Parrón	11,2	29.1	34.3	39.1	45.6	50.8
Chovellén	Estero en Chovellén	4,3	14.3	16.9	19.2	22.4	25.0
Chovellén	Río Chovellén	214,5	330.0	388.2	442.7	548.5	678.6

Tabla 10: Caudales máximos para distintos periodos de retorno a utilizar en el análisis de riesgo en los cauces de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2010

Una forma de validar estos caudales (Tabla 10) es a través de una comparación con los valores que se obtienen con el método conceptual de Verni y King (1977). Es importante destacar que en este estudio se prefirió utilizar una modelación más detallada por sobre este modelo simplificado, ya que el modelo de Verni y King es comúnmente usado para una primera estimación de crecidas en cuencas no controladas (sin registro de caudales) del país. Adicionalmente este método sólo permite estimar el caudal máximo, mientras que los métodos usados en el estudio entregan el hidrograma completo de crecida, el cual puede ser eventualmente de mayor utilidad en la simulación hidráulica de inundaciones.

El método de Verni y King está dado por:

$$Q_{\max} = 0,00615 \cdot P_{24}^{1,24} \cdot A^{0,88}$$

con

Q_{\max} : Caudal máximo instantáneo asociado a un período de retorno (m^3/s).

P_{24} : Precipitación diaria para un determinado período de retorno (mm).

A : Área de la cuenca aportante (km^2).

En la Figura 15 se presenta la comparación de los caudales máximos modelados en el presente estudio (Tabla 10) y los obtenidos con el método de Verni y King. Para todos los periodos de retorno el orden de magnitud es similar y, en general, los caudales máximos generados por ambos métodos no difieren en más de un 20%. Dicha similitud se hace más significativa para periodos de retorno mayores. Las diferencias más importantes se dan en los cauces “Llico” y “Loanco”. El método de Verni y King no considera el efecto de almacenamiento que pueden tener grandes lagunas o lagos. Justamente el lago Víchuquén se encuentra en la cuenca que drena al cauce del Llico y tiene un efecto regulador. Dicho efecto si es considerado en la modelación con SWMM adoptada en este estudio. Esta diferencia en la concepción de los dos modelos explica las crecidas mayores en el Llico (aproximadamente el doble) obtenidas con el método de Verni y King en comparación con lo simulado por SWMM. En el caso del Loanco, no es evidente la razón que explica la diferencia con respecto a los caudales estimados usando el método de Verni y King, pero esta diferencia se hace poco importante dado que existen registros fluviométricos para este estero, de modo que los caudales utilizados en este estudio se obtienen de un análisis de frecuencia histórico. En general, el cálculo de crecidas para un número significativo de cuencas – por sobre el número de cauces cuya batometría puede finalmente hacerse- ha permitido tener una buena idea de la validez y consistencia de los métodos hidrológicos utilizados en este estudio.

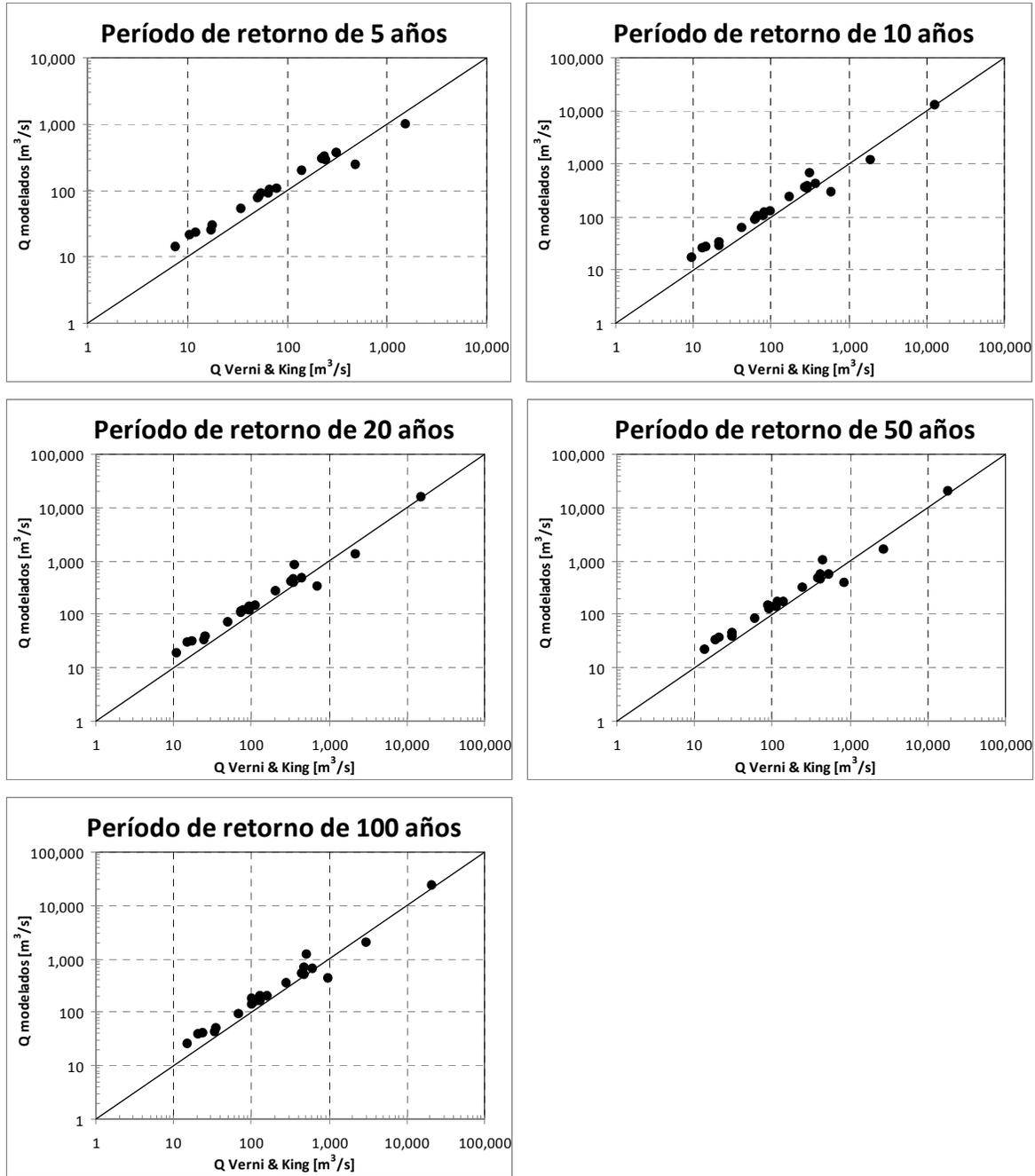


Figura 15: Caudales máximos modelados vs estimados por el método de Verni & King.

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.2.7 Modelación hidráulica

La modelación hidráulica consiste en propagar los caudales máximos obtenidos en la modelación hidrológica a través de los cauces respectivos, pudiendo predecir de esta manera los ejes hidráulicos (alturas de agua) y las áreas de inundación provocadas por las crecidas. Para las localidades más importantes, se han realizado levantamientos batimétricos específicos con el fin de mejorar el conocimiento acerca de la profundidad y forma de los cauces asociados.

Para esta modelación se utilizará el modelo computacional Hec Ras (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) del US Army Corps of Engineers (US Army Corp pf Engineers, 2010), el cual soluciona la ecuación dinámica de flujo gradualmente variado a través del método directo por etapas⁹.

Los principales parámetros a considerar por el modelo son los perfiles batimétricos del lecho, la condición de borde aguas abajo del cauce (desembocadura) y el coeficiente de rugosidad de Manning. El coeficiente de rugosidad depende de la granulometría del lecho del río, su sinuosidad, y la posible presencia de vegetación u otros obstáculos. En los casos analizados, se ha comprobado que el escurrimiento está fuertemente condicionado por el nivel del mar en la desembocadura, disminuyendo así la sensibilidad de los cálculos de eje hidráulico frente al parámetro de rugosidad de Manning seleccionado.

Los perfiles batimétricos fueron levantados en terreno durante los meses de agosto y septiembre de 2010. La medición de batimetrías fue realizada para las localidades más importantes con el objeto de proporcionar la información básica para realizar una modelación hidráulica con Hec Ras (identificadas en la Tabla 9). Se levantaron los primeros 2 a 3 km de cauce desde la desembocadura hacia aguas arriba, con un espaciamiento entre perfiles variable teniendo en cuenta las singularidades y sinuosidad de los cauces, y mejorando la resolución espacial en las cercanías de zonas pobladas. Según el tamaño y topografía, para cada cauce se adoptó una metodología distinta de medición, utilizándose técnicas de batimetría directa en los cauces menores, o embarcación a motor y ecosondas para los ríos de mayor profundidad y caudal como el río Maule.

Para las condiciones de borde, se verificó que en todos los cauces estudiados el escurrimiento tiene lugar en régimen de río, definiéndose un nivel de agua en la desembocadura. El cálculo de eje hidráulico se lleva a cabo considerando distintas probabilidades de crecida hidrológica (periodos de retorno) considerando los siguientes escenarios : i) Nivel de marea de sicigia máximo para los cauces conectados al mar en su desembocadura, ii) nivel de marea de sicigia máximo y sobre peraltamiento del nivel del mar por marea meteorológica (tormenta) para los cauces conectados al mar en su desembocadura, y iii) altura crítica sobre el umbral asociado a la

⁹ El presente método se encuentra descrito en el Informe de Modelaciones.

presencia de una barra de arena en los casos en que el cauce se encontrase cerrado y desconectado al mar.

- **Metodología para obtención de niveles de marea.**

Para cada uno de los diez sitios de estudio se generaron series de tiempo de marea sintética considerando las componentes armónicas de marea. Éstas se obtuvieron utilizando el modelo global de inversión de mareas TPX07.1¹⁰ Este es un modelo de alta resolución desarrollado por la Universidad Estatal de Oregon. El modelo asimila información de altimetría de los satélites TOPEX/Poseidon y TOPEX Tandem, e información de mareógrafos disponibles a nivel mundial. La información es entregada tanto en series de tiempo de elevación de la superficie del mar (referidas al Nivel Medio del Mar), como para las componentes armónicas de marea considerando ocho componentes primarias (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), dos de periodo largo (Mf, Mm) y tres no lineales (M4, MS4, MN4), utilizando una grilla global de resolución 1/4°x1/4°. TPX07.1 es uno de los modelos globales de mareas más precisos, especialmente para altas latitudes, debido a la asimilación de información de mareógrafos y a que utiliza información batimétrica reciente de la Antártica y de Groenlandia. La metodología utilizada por el modelo se detalla en Egbert y Erofeeva (2002).

Para el análisis de los rangos de marea en este estudio, se consideraron los componentes armónicos disponibles en la Tabla 11.

Nombre	Periodo [hr]
M2	12.4206
S2	12.0000
N2	12.6584
K2	11.9673
K1	23.9344
O1	25.8194
P1	24.0659
Q1	26.8684
Mf	327.85
MM	661.31
M4	6.2103

Tabla 11: Componentes armónicos de marea.

Para extraer la información proporcionada por el modelo y visualizar los resultados, se utiliza la interfaz gráfica “TMD” (Tide Model Driver). La interfaz permite obtener los coeficientes asociados a las componentes armónicas de marea en locaciones identificadas por sus coordenadas de latitud y longitud. El modelo también permite realizar predicciones de altura de mareas y de corrientes mareales.

¹⁰ http://www.esr.org/polar_tide_models/Model_TPX071.html

Rangos de marea en localidades de interés y escenarios

Para obtener las características de las componentes de marea en cada localidad, se debe ingresar la coordenada del punto de interés. Las coordenadas utilizadas se muestran en la siguiente tabla.

Localidad	Coordenada desembocadura	
	Lat	Long
Pupuya	-33,9862	-71,8841
Pichilemu	-34,3807	-72,0000
Cahuil	-34,4794	-72,0250
Bucalemu	-34,6397	-72,0430
Llico	-34,7540	-72,0832
Constitución	-35,3183	-72,4099
Las Cañas	-35,4636	-72,4882
Pellines	-35,4751	-72,5053
Pelluhue	-35,8032	-72,5699
Curanipe	-35,8424	-72,6358

Tabla 12: Coordenadas de desembocaduras de ríos y esteros por localidad.

Utilizando las componentes armónicas calculadas por el modelo en cada lugar, se generaron series de mareas sintéticas de 30 días a intervalos de 10 minutos. Las correspondientes amplitudes y fases de las componentes armónicas utilizadas en conjunto con las series armónicas obtenidas se presentan en los anexos. No se registraron variaciones significativas en los rangos máximos de marea de sicigia, los que se resumen en la Tabla 13.

Localidad	Rango [m]
Pupuya	1,7952
Pichilemu	1,8036
Cahuil	1,8061
Bucalemu	1,875
Llico	1,8083
Constitución	1,8308
Las Cañas	1,8315
Pellines	1,8457
Pelluhue	1,8468
Curanipe	1,7952

Tabla 13: Rangos máximos de marea de sicigia.

El rango de marea máximo es cercano a 1,8m en la zona de estudio por lo que se considerará este valor como referencia para un escenario desfavorable. Adicionalmente se considerará una sobre cota por efectos de marea meteorológica de 0,5m lo cual constituirá el peor escenario.

Ajuste del Nivel de Reducción de Sonda al sistema de coordenadas cartográficas WGS84.

La definición de las condiciones de borde para la modelación hidráulica requiere el conocimiento de las cotas del Nivel de Reducción de Sondas (NRS) en cada localidad referidas al mismo datum

respecto del cual se definen las cartas topográficas y perfiles batimétricos. La obtención de esta cota se realiza en este estudio de manera aproximada teniendo en cuenta los objetivos y los plazos considerados.

Los levantamientos de terreno realizados con el objeto de obtener información batimétrica de detalle en los cauces ubicados en las principales localidades, incluyeron la observación de los niveles del mar en cada caso. De esta forma fue posible vincular estos niveles con la información levantada para los perfiles batimétricos. En cada localidad se procedió a medir la ubicación del nivel del mar, registrando la fecha y hora en que ésta fue realizada. Posteriormente, con la ayuda de los pronósticos de marea disponibles en el modelo TPX07.1¹ descrito en la sección anterior, fue posible vincular estas observaciones locales al NRS estimado por el modelo y así determinar su ubicación respecto del datum utilizado para los perfiles batimétricos. Finalmente, los perfiles batimétricos fueron ajustados verticalmente para hacerlos calzar con la información batimétrica disponible con el objeto de integrar todos los datos referidos al datum WGS84 utilizado en las cartas topográficas. En la Tabla 14 se presentan los valores de cotas verticales para los NRS determinados con este procedimiento. Estos valores fueron utilizados posteriormente para fijar las condiciones de borde del modelo hidráulico.

Localidad	NRS según WGS84 (m)	Rango Marea (m)	Marea máxima según WGS84 (m)
Pupuya	-2,4681	1,7952	-0,6729
Pichilemu	-2,4956	1,8036	-0,692
Cahuil	-3,3448	1,8061	-1,5387
Bucalemu	-1,316	1,875	0,559
Llico	-0,3641	1,8083	1,4442
Las Cañas	-2,6553	1,8308	-0,8245
Pellines	2,1274	1,8315	3,9589
Pelluhue	1,4028	1,8457	3,2485
Curanipe	1,0465	1,8468	2,8933

Tabla 14: Ajuste del NRS al sistema de coordenadas WGS84.

Fuente: Elaboración propia.

Topografía de las localidades.

Para cada localidad se cuenta con cartas topográficas LIDAR que permiten evaluar la inundación del poblado para diferentes alturas del eje hidráulico. Las curvas de nivel en estas cartas se presentan cada 2 m y están referenciadas al sistema de coordenadas cartográficas WGS84, el cual sirve se utiliza también como datum para el ajuste de las batimetrías levantadas en terreno y para los niveles de marea. La Figura 16 muestra un ejemplo de estas cartas para la localidad de Cahuil.



Figura 16: Topografía con curvas de nivel de resolución 2 m, localidad de Cahuil.

Fuente: Elaboración propia a partir de DEM de Digimapas.

La topografía de La Vega de Pupuya, Pichilemu, Constitución, Pellines, Pelluhue y Curanipe fue obtenida de los Planes Reguladores Comunales correspondientes, mientras que para Cahuil, Bucalemu, Llico y Las Cañas se generó a partir de modelos de elevación digital adquiridos de Digimapas.

Metodología para la Interpolación de Perfiles Batimétricos

Los datos de batimetría levantados para este estudio han servido para complementar la información cartográfica disponible en cada localidad. Los nuevos perfiles han permitido incorporar información de los cauces naturales desde sus desembocaduras hasta aproximadamente 2 a 3 kms aguas arriba. Para construir el modelo hidráulico, se ha procedido a interpolar entre los datos de perfiles medidos¹¹.

Procesamiento de información topográfica

Para la modelación se necesitó procesar la información topográfica tanto de las curvas de nivel como la interpolación resultante de los perfiles. Para esto se utilizó la herramienta ArcGIS, de manera de interpolar las curvas de nivel de las localidades y generar así un archivo raster con las elevaciones de los puntos entre curvas de nivel. La combinación de esta información con las elevaciones obtenidas de la interpolación de la batimetría, permite generar un archivo raster de

¹¹ Metodología descrita en el Informe de Modelaciones.

elevaciones, el cual posee toda la topografía del lugar, incluyendo el lecho del cauce, sus inmediaciones y el sector poblado.

Modelación en Hec GeoRas

La información previamente descrita se incorporó a la herramienta Hec GeoRas, la cual se utilizó para el cálculo de los ejes hidráulicos asociados a los distintos caudales obtenidos para distintos periodos de retorno. Esta herramienta permite además la visualización en ambiente SIG y la generación de polígonos de inundación en formato *shape*, los que pueden ser superpuestos a una imagen satelital de la zona.

Los cálculos se realizan en Hec Ras a partir de información disponible en ArcGis y exportada con Hec GeoRas. A modo de ejemplo, la

Figura 17 muestra el diseño de del archivo de entrada con las secciones transversales del cauce identificadas en el raster de elevaciones y en la foto satelital para el caso de Cahuil.

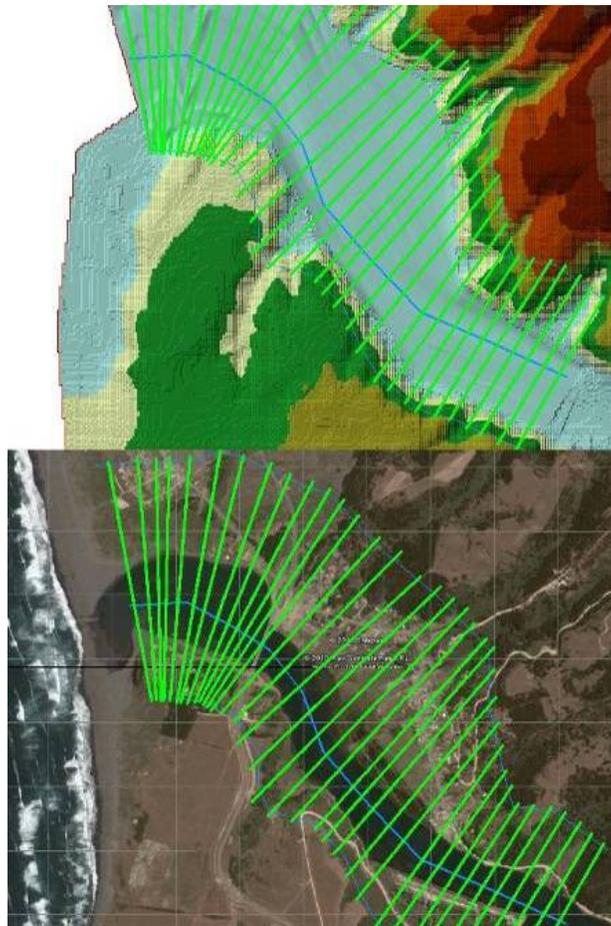


Figura 17: Modelo topográfico utilizado para el diseño del eje principal y definición de secciones transversales en ArcGIS, localidad de Cahuil.

Una vez incorporada la batimetría a Hec Ras se define un coeficiente de Manning, y se realizó las modelaciones para los distintos caudales definidos por la modelación hidrológica. Se consideran distintos escenarios para las condiciones de borde aguas abajo según lo estipulado previamente. Los principales resultados obtenidos a partir de la modelación hidráulica son el eje hidráulico y las cotas de inundación, las velocidades medias en cada sección transversal, la altura crítica, la altura normal y la altura de energía del escurrimiento.

2.2.2.8 Resultados modelo hidráulico.

En la modelación hidráulica se simuló el escurrimiento de los caudales máximos obtenidos en la modelación hidrológica, con lo que se obtiene un área de inundación referida a una probabilidad de ocurrencia con distintos escenarios.

Se probó la sensibilidad del modelo al nivel de marea y al coeficiente de Manning, siendo el primero un factor determinante en el eje hidráulico del cauce. Variaciones en el coeficiente de Manning afectan en escasa medida la altura de agua, por lo que se utilizó un coeficiente constante e igual para todos los casos de 0,035, obtenido de la literatura para este tipo de cauces naturales (Chow, 1988). Con el fin de evaluar las condiciones del escurrimiento en las condiciones más desfavorable se consideraron para los cauces conectados al mar, dos escenarios diferentes en cada localidad. En el primer escenario se considera una marea de sicigia, mientras que en el segundo se agrega además una sobre elevación de 0,5 m con el objeto de evaluar el efecto de una marea meteorológica asociada a tormentas (viento, oleaje, bajas de presión). Cada localidad presenta diez escenarios para la modelación (5 caudales para periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años, y dos condiciones de borde).

A modo de ejemplo se presenta la modelación detallada de la localidad de Pichilemu. Todas las figuras e información presentada a continuación para esta localidad, se presentan para todas las localidades en el capítulo de síntesis por localidad.

Modelación Hidráulica, Localidad de Pichilemu

La modelación arroja como resultado las áreas de inundación como también otros datos que pueden ser de utilidad como la velocidad máxima, el eje hidráulico, la altura crítica y normal del escurrimiento. A continuación se presenta los resultados relevantes de la modelación para Pichilemu.

Localidad	Escenarios a evaluar		Velocidad máxima (m/s)
	Nivel de marea	Periodo de retorno (años)	
Pichilemu	Sicigia (-0,7m)	5	2,36
		10	2,49
		20	2,56
		50	2,74
		100	2,80
	Sicigia más marea meteorológica (-0,2m)	5	2,41
		10	2,54
		20	2,64
		50	2,81
		100	2,86

Tabla 15: Escenarios de evaluación y velocidades máximas de escurrimiento, localidad de Pichilemu.

Fuente: Elaboración propia.

*Los niveles de marea están referidos al sistema WGS84.

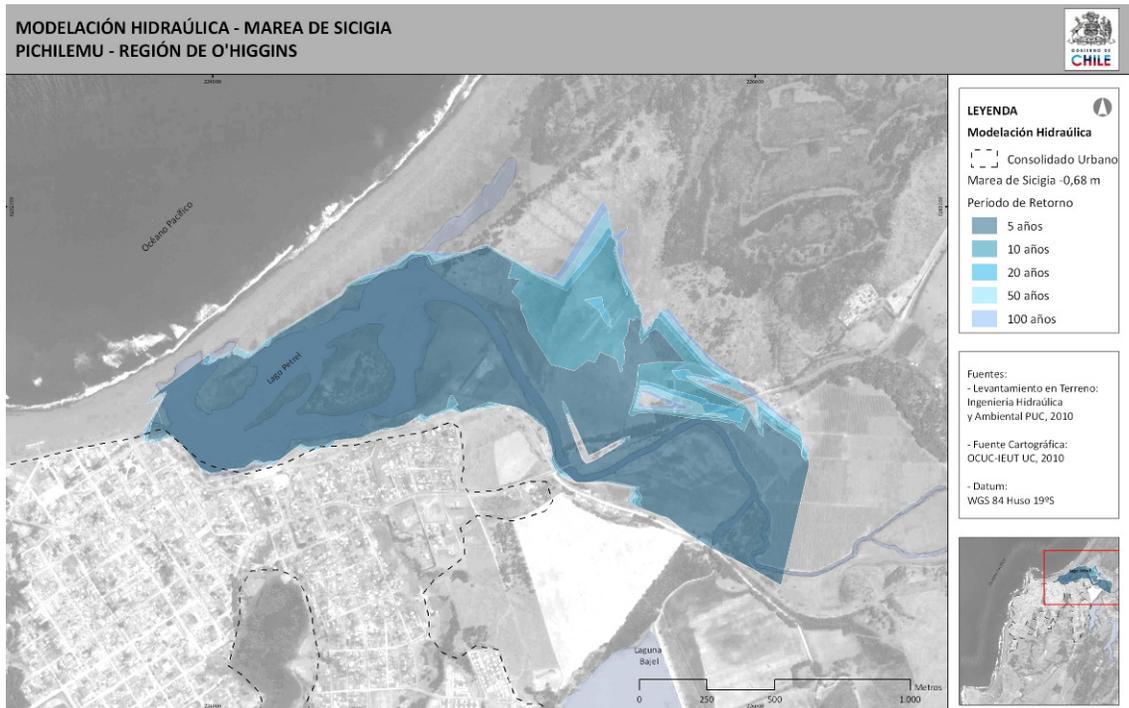


Figura 18: Áreas de inundación de Pichilemu para nivel de marea de sicigia con distintos periodos de retorno.

Fuente: Elaboración propia, 2010.

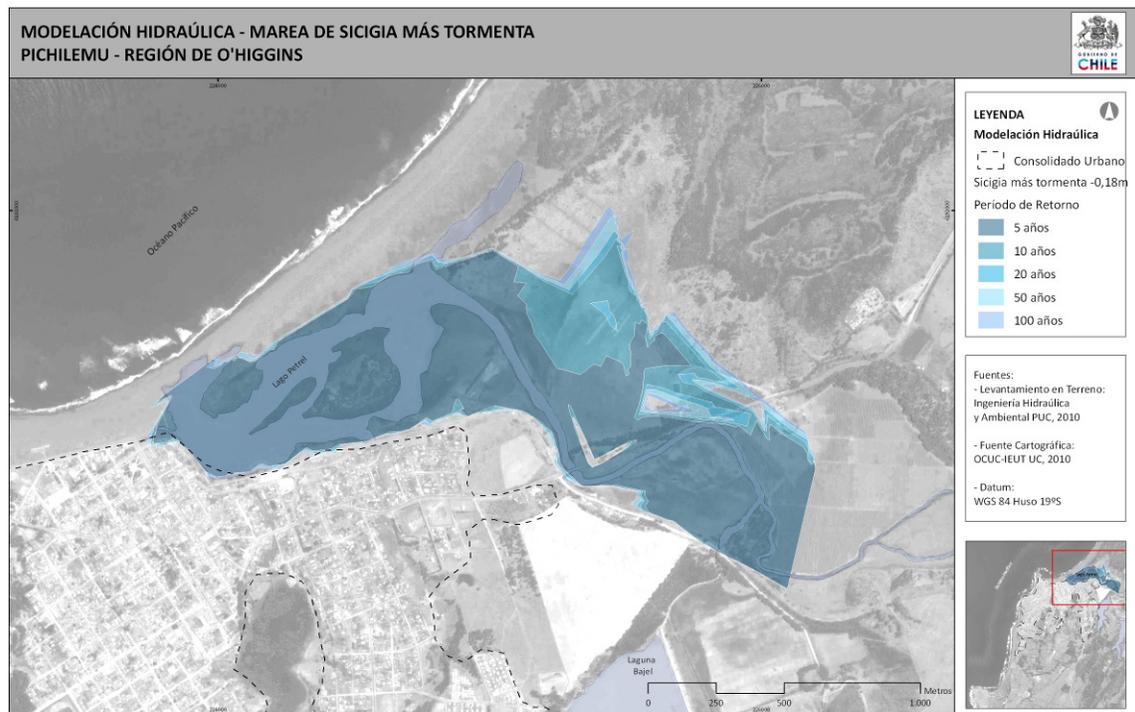


Figura 19: Áreas de inundación de Pichilemu para nivel de marea de sicigia más marea meteorológica con distintos periodos de retorno.

Fuente: Elaboración propia, 2010

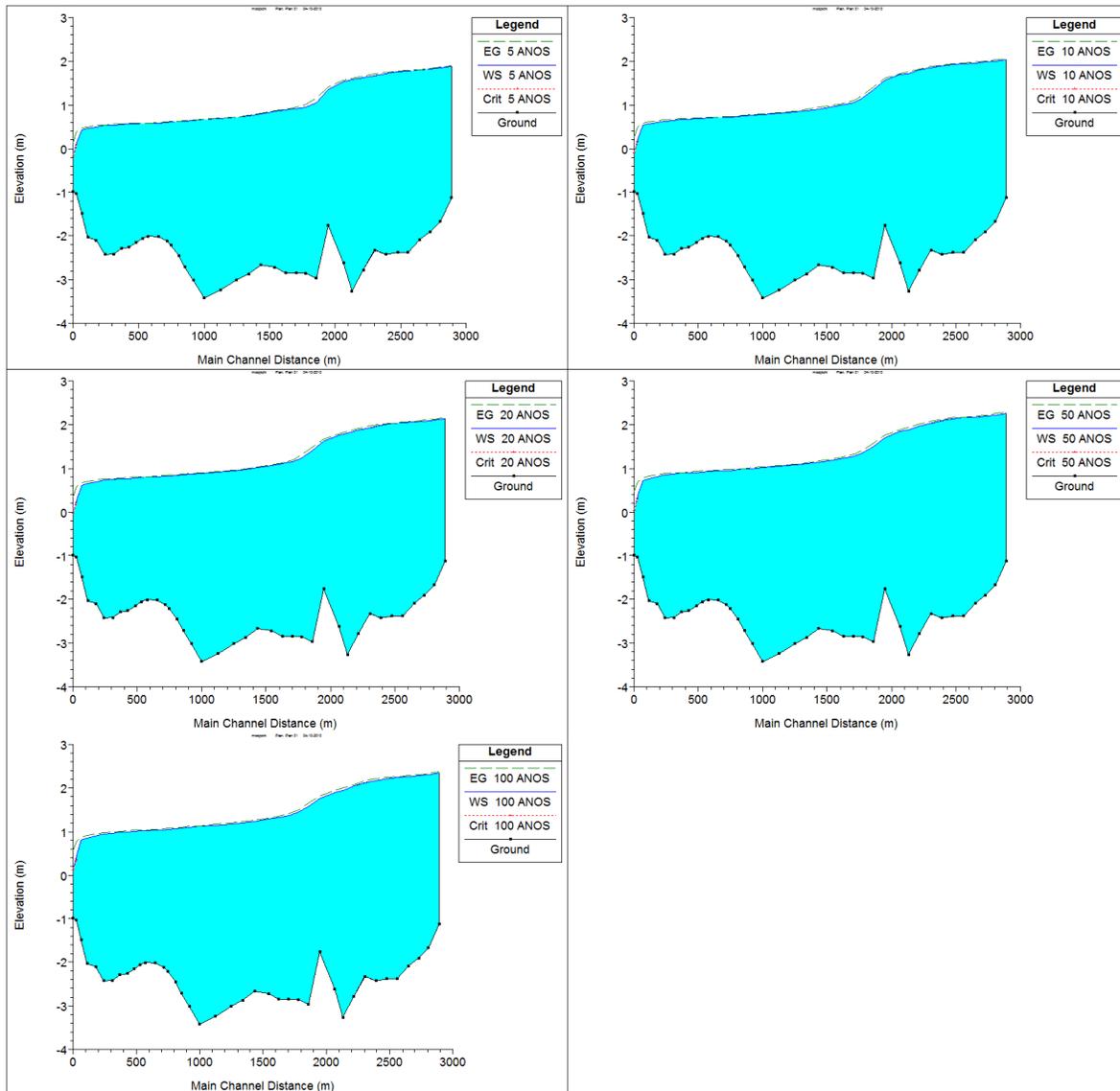


Figura 20: Eje hidráulico, altura crítica y altura de energía del escurrimiento para escenario de marea de sicia, localidad de Pichilemu.

*Periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años ordenados respectivamente de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

Fuente: Elaboración propia, 2010

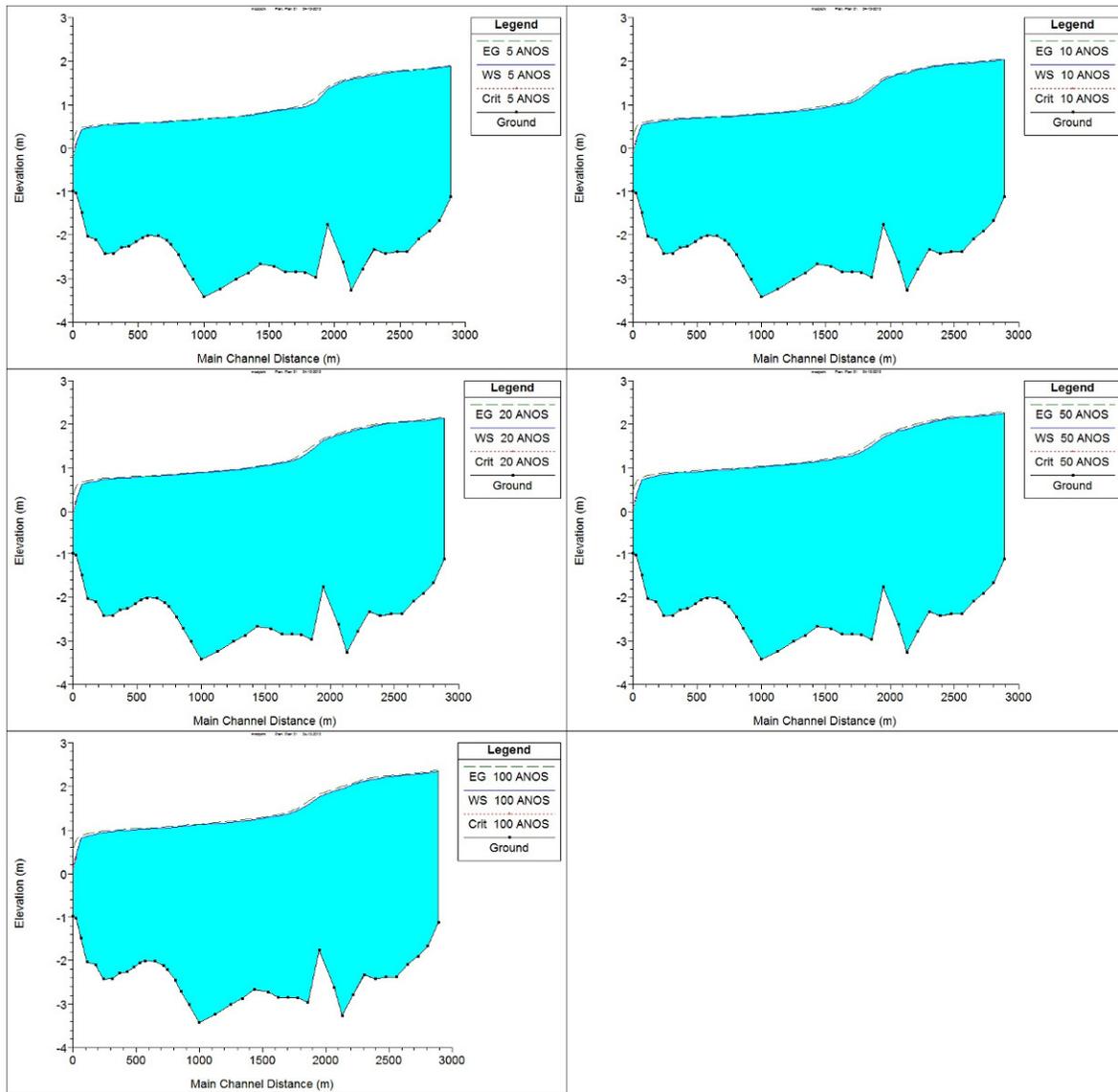


Figura 21: Eje hidráulico, altura crítica y altura de energía del escurrimiento para escenario de marea de sicigia más marea meteorológica, localidad de Pichilemu.

*Periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años ordenados respectivamente de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

Fuente: Elaboración propia, 2010

Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos de la simulación muestran algunas generalidades:

Importancia de la condición de borde

Dada la configuración geomorfológica de las desembocaduras, el impacto del nivel de la marea es relevante al determinar las zonas de inundación. Las simulaciones muestran que la superficie comprendida por las inundaciones asociadas a crecidas puede llegar a ser poco sensible al periodo de retorno de la crecida. Ejemplo de esto es lo que se observa para la localidad de Bucalemu. Por otro lado, en el caso de Pichilemu si se aprecia una mayor variabilidad entre las zonas de inundación para distintas crecidas. Adicionalmente no se detectan mayores diferencias en las áreas de inundaciones al considerarse el escenario de marea meteorológica alta (50 cm adicionales a la altura de marea de sicigia). Finalmente, es importante mencionar que la condición de marea representa el peor escenario, de modo que una crecida podría ocurrir con condiciones de marea más baja. Eso implicaría áreas de inundación menores, las cuales si serían más sensibles a la magnitud de la crecida (i.e. su periodo de retorno).

Validez del modelo

Dada las características de las desembocaduras, es posible que el modelo unidimensional no represente bien los flujos que ahí ocurren. Sin embargo, el importante grado de control que ejerce el nivel de marea implica flujos de poca velocidad, lo que justifica el uso del modelo adoptado en este estudio. No obstante, podría ocurrir una crecida con niveles de marea más bajo, lo que implicaría un menor control desde aguas abajo. En este caso se esperan áreas de inundación menos extensas, así como también velocidades de escurrimiento importante en distintas direcciones. Esto tendría impactos en las zonas directamente expuestas en el cauce. Las simulaciones de este estudio corresponden a las de un peor escenario, por lo que se concluye que las zonas que pudiesen sufrir problemas producto de las velocidades de flujo estarían a cotas más cercanas al cauce principal. Así entonces se concluye que una política de ocupación territorial residencial fuera de la zona de inundación principal garantiza la seguridad de la comunidad.

Aspectos relacionados con erosión por crecidas

Un aspecto importante a considerar es la posibilidad de que durante eventos de crecida se produzca también erosión del lecho o riberas en los cauces estudiados. Una primera indicación de la capacidad del flujo para generar transporte de sedimentos y erosión es la comparación de las

velocidades máximas con velocidad crítica del flujo para iniciación del movimiento del sedimento de fondo (Sturm, 2001).

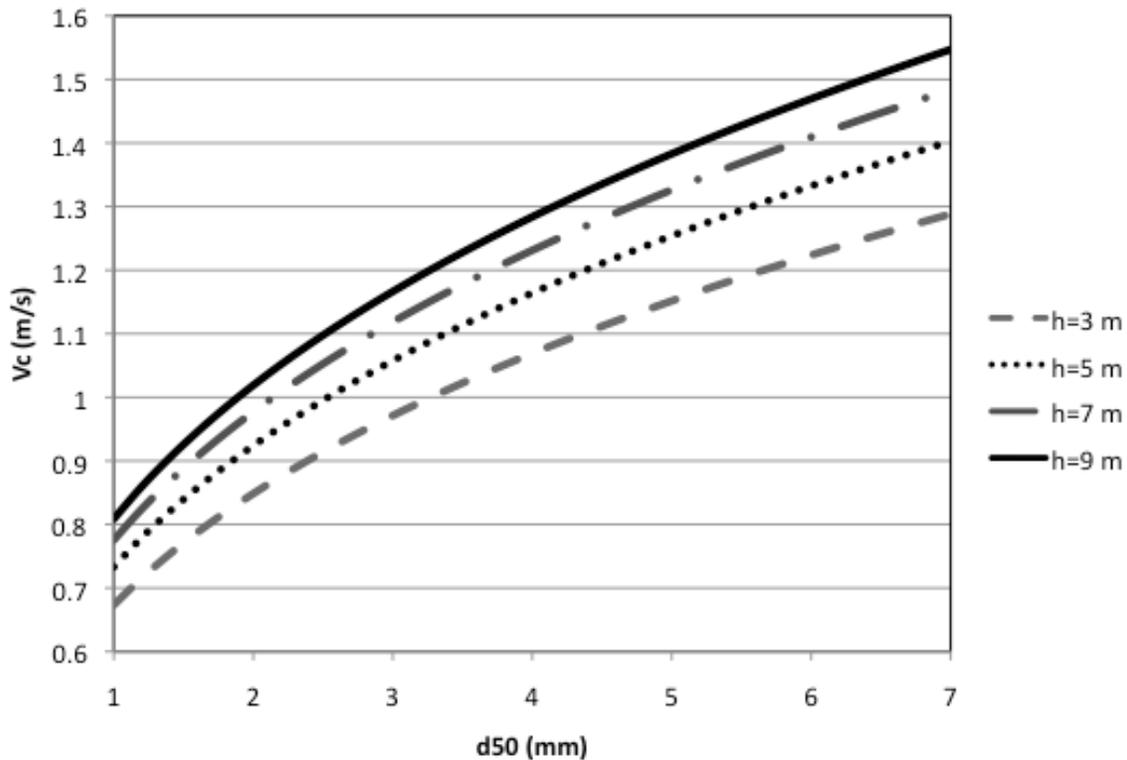


Figura 22 Velocidad crítica de iniciación del movimiento para partículas de sedimento de acuerdo a la expresión propuesta por Keulegan (1938).

Velocidades significativamente mayores a V_c producirán transporte de sedimentos y eventualmente erosión del lecho y riberas de cauces.

En la Figura 22 se muestra un gráfico de la velocidad crítica del flujo de acuerdo a la expresión derivada por Keulegan (1938) para estimar la velocidad crítica del flujo usando la relación de Shields para iniciación del movimiento. La velocidad crítica puede expresarse como función del diámetro medio del sedimento (d_{50}) y de la profundidad del flujo (h), asumiendo que el cauce es ancho. Esta expresión muestra que para valores del diámetro del sedimento entre 1 y 7 mm, las velocidades críticas varían en un rango de 0.6 a 1.6 m/s en profundidades del flujo de 3 a 9 m. La comparación con los valores de velocidad máxima entrega una referencia para evaluar la capacidad de los caudales de crecida de transportar sedimentos, ya que la capacidad de transporte de fondo se expresa generalmente en función de la diferencia entre los valores calculados para el flujo y los parámetros críticos del lecho. La capacidad de transporte y zonas de eventual erosión

deben estudiarse en detalle con mayor información de la granulometría y morfología de los cauces.

2.2.3 REMOCIÓN EN MASA POR SISMO

Para evaluar el nivel de amenaza asociado a este fenómeno, y en ausencia de un procedimiento estándar para realizar este tipo de evaluación, se desarrolló una metodología propia basada principalmente en el tipo y calidad de información disponible. Dado que la información existente al respecto es limitada y esencialmente descriptiva, el procedimiento que a continuación se presenta es cualitativo en cuanto establece las zonas de una determinada localidad que tienen asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno, pero no existe una estimación de, por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en una cierta ventana de tiempo o para distintas intensidades de eventos sísmicos.

El nivel de amenaza que se definió para cada localidad está basado en la ocurrencia de un evento sísmico capaz de inducir un nivel máximo de aceleración horizontal de roca basal igual a $0.4g$ ($g=9.81 \text{ m/s}^2$), y en condiciones de talud saturado o muy húmedo. El valor de $0.4g$ es consistente con la aceleración máxima efectiva en el terreno definida en la norma chilena NCh433-“Diseño Sísmico de Edificios” para la zona costera de las regiones estudiadas. Es importante notar que la condición de talud saturado o muy húmedo es exigente y no es representativa de la condición en la que se encontraban los taludes para el terremoto del 27 de Febrero de 2010. En otras palabras, esta modelación no pretende replicar las observaciones del terremoto pasado, sino que evaluar lo que podría suceder para un terremoto de diseño en condiciones de talud relativamente desfavorables.

Para efectos de estimar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de remoción en masa, se consideraron las siguientes variables: pendiente del terreno, vegetación del talud, características del suelo, y geología del sector. Además, dentro de cada variable se identificaron una serie de rangos y a cada rango se le otorgó una valoración (números del 1 al 5), donde los números más altos representan una condición más favorable para la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa.

En términos de pendiente del terreno, se definieron tres rangos de inclinación respecto a la horizontal: 0° a 25° , 25° a 40° , y mayor a 40° , con una ponderación creciente a los sitios con mayor pendiente. Estos rangos están basados en una revisión bibliográfica de los documentos que se detallan en la bibliografía, en particular en los apuntes del curso “Remociones en Masa” de Marisol Lara y Sergio Sepúlveda (2008) y en el texto “Soil Mechanics in Engineering Practice” de Terzaghi, Peck, y Mesri.

Respecto al tipo de vegetación, se utilizaron los cinco rangos siguientes: bosque, matorral, cultivo, vega, y sin vegetación, con una ponderación creciente de “bosque” hacia “sin vegetación”. La valoración asignada a cada tipo de vegetación está basada en el juicio profesional, y el raciocinio detrás de esta valoración es que las raíces asociadas a vegetación más frondosa proveerán de cierto nivel de refuerzo al talud.

En el tipo de suelo se hizo una subdivisión adicional en términos del grado de erosión, tipo de estructura, textura, y condición de drenaje de los materiales que constituyen el talud. En términos de erosión, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones de sin erosión, ligera, moderada y severa. En términos de estructura, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones de masiva, prismática, en bloques, laminar, particular suelta, y migajosa. En términos de textura, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones arenosa, franca, franco arenosa fina, franco arcillo arenosa, franco limosa, franco arcillo limosa, franco arcillosa, y arcillosa. En términos de drenaje, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones de alto, medio, y bajo drenaje. La valoración asignada a cada variable está basada en el juicio profesional, y el raciocinio detrás de los valores adoptados es que los suelos más propensos a sufrir deslizamientos son aquellos muy erosionados, con estructura suelta, textura arcillosa y malas condiciones de drenaje. Por el contrario, aquellos suelos poco erosionados, con estructura masiva, de textura arenosa y con buen drenaje, son menos propensos a presentar este tipo de fenómenos.

En términos de geología se agruparon dentro del mismo rango las formaciones Pz4a, PzTr4, y Pz4b (rocas metamórficas), a las que se les dio la más baja valoración; por su parte, las formaciones MP1m, CPg, y Jig (rocas sedimentaria e intrusivas) se agruparon en un rango de valoración intermedia; finalmente, las formaciones Qf, Qm, Qe, y Q1 (rocas sedimentarias) se agruparon dentro del rango de mayor valoración. La valoración asignada a cada tipo de formación geológica se fundamenta en el hecho de que las formaciones más recientes tienden a tener una menor resistencia estructural que las formaciones más antiguas.

La Tabla 16 muestra el detalle de las variables empleadas, los rangos considerados, la valoración respectiva, y la ponderación que cada variable tuvo en la modelación final. Se consideraron como más relevantes las variables de pendiente (25%), la capacidad de drenaje del suelo (20%), y su textura (15%); para las variables de textura, geología, estructura, y nivel de erosión del suelo, se utilizaron ponderaciones de 15%, 15%, 10%, y 10%, respectivamente; mientras que al ítem de vegetación se le asignó un 5% pues su efecto en relación a la capacidad sísmica del talud es bajo. La ponderación asignada a cada variable está basada en el juicio profesional. A partir de estos valores, el nivel de amenaza se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$NA = 0.25P + 0.05V + 0.1Se + 0.1Ss + 0.15St + 0.2Sd + 0.15G$$

donde *NA* es el nivel de amenaza, y *P*, *V*, *Se*, *Ss*, *St*, *Sd*, y *G* representan, respectivamente, la valoración de las variables de pendiente, vegetación, erosión del suelo, estructura del suelo, textura del suelo, drenaje de suelo, y geología.

La Figura 23 muestra el proceso realizado en SIG para poder determinar el grado de amenaza de remoción en masa para cada localidad en estudio:

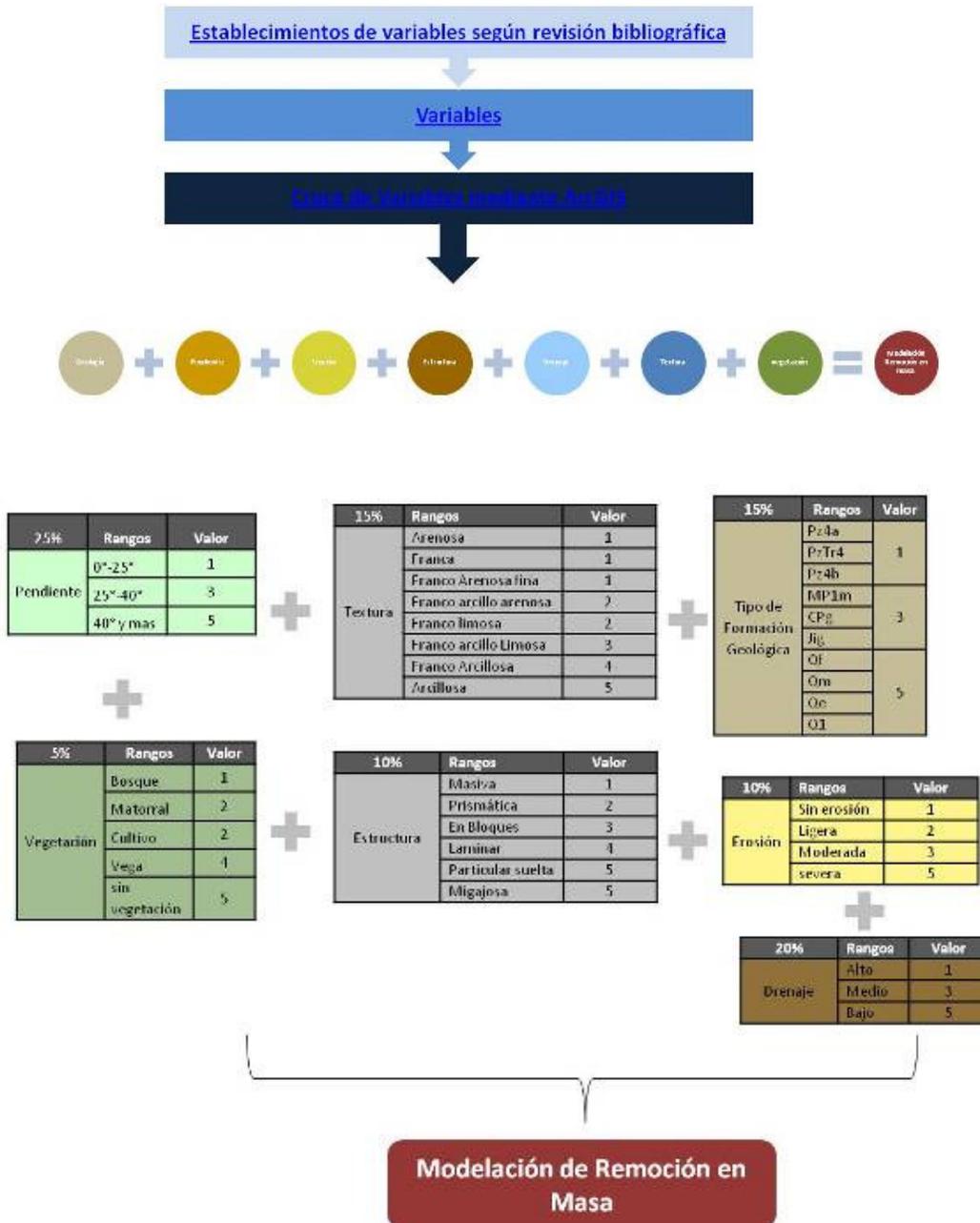


Figura 23 Pasos Metodológicos para determinar grado de amenaza de remoción en masa

Variables		Rangos	Valoración	Ponderación	
Pendiente		0°-25°	1	25%	
		25°-40°	3		
		40° y mas	5		
Vegetación		Bosque	1	5%	
		Matorral	2		
		Cultivo	2		
		Vega	4		
		sin vegetación	5		
Suelo	Erosión	Sin erosión	1	10%	
		Ligera	2		
		Moderada	3		
		severa	5		
	Estructura		Masiva	1	10%
			Prismática	2	
			En Bloques	3	
			Laminar	4	
			Particular suelta	5	
			Migajosa	5	
	Textura		Arenosa	1	15%
			Franca	1	
			Franco Arenosa fina	1	
			Franco arcillo arenosa	2	
			Franco limosa	2	
			Franco arcillo Limosa	3	
			Franco Arcillosa	4	
			Arcillosa	5	
	Drenaje		Alto	1	20%
Medio			3		
Bajo			5		
Geología	Tipo de Formación	Pz4a	1	15%	
		PzTr4			
		Pz4b			

Variables		Rangos	Valoración	Ponderación
		MP1m	3	
		CPg		
		Jig		
		Qf	5	
		Qm		
		Qe		
		Q1		

Tabla 16 Variables de Remoción en Masa

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestra cómo se calculó el nivel de amenaza en la localidad de Boyeruca. Para esta zona de la localidad se tienen las siguientes características y correspondientes valoraciones:

Pendiente = 60° (promedio) $\Rightarrow P = 5$

Vegetación = Matorral, Coironal (áreas verdes zonas urbanas) $\Rightarrow V = 2$

Serie de Suelo = CBC-1 (suelos de textura superficial franco arcillo limosa, profundos, bien drenados, cero erosión, estructura de bloques sub-angulares medios y gruesos)

\Rightarrow Erosión del Suelo, $Se = 1$

\Rightarrow Estructura del Suelo, $Ss = 3$

\Rightarrow Textura del Suelo, $St = 3$

\Rightarrow Drenaje del Suelo, $Sd = 1$

Geología = Pz4a (roca metamórfica) $\Rightarrow G = 1$

Los valores anteriores implican que el nivel de amenaza para esta zona de Boyeruca es igual a:

$$NA = 0.25 \times 5 + 0.05 \times 2 + 0.1 \times 1 + 0.1 \times 3 + 0.15 \times 3 + 0.2 \times 1 + 0.15 \times 1$$

$$NA = 2.55$$

Dada la manera en que fue construida la metodología, el valor de NA varía entre 1 y 5, y los rangos correspondientes a los niveles de amenaza bajo, medio, y alto fueron 1 a 2, 2.1 a 3.1, y 3.2 a 5,

respectivamente. Por lo tanto un valor de $NA = 2.55$ corresponde a un nivel de amenaza medio para esta área¹².

Adicionalmente, para efectos de evaluar el alcance que podrían tener las remociones en masa en áreas con un nivel de amenaza importante, se utilizó el modelo que se ilustra en la Figura 24. Esta figura muestra el modo de falla representativo de las zonas de estudio, donde es la capa superior de suelo la que, en caso de ocurrir deslizamiento, se desplazará por sobre el material más competente (e.g., la roca basal) que se ubica a cierta profundidad en los taludes. Para estimar el nivel de desplazamiento se hizo un balance entre la energía potencial de la masa de suelo que desliza (Peso*Altura) y el trabajo que desarrollan las fuerzas de interacción entre la masa de suelo y la roca basal (Resistencia*Desplazamiento). Este modelo simplificado hace uso del hecho que la energía cinética que alcanza a desarrollar la masa de suelo durante el deslizamiento es mucho menor que su energía potencial total. Además, la resistencia al corte que se asumió para la base de la masa de suelo que falla es relativamente conservadora, y representativa de la resistencia al corte no-drenado de arcillas blandas (~1 tonf/m²).

Al igualar la energía potencial total de la masa de suelo que desliza con el trabajo desarrollado por las fuerzas que se oponen a ese deslizamiento, resulta la siguiente expresión para el deslizamiento potencial de la masa de suelo:

$$D = \frac{\gamma \cdot t \cdot L \cdot \sin(\alpha)}{2 \cdot Su}$$

donde D es el deslizamiento potencial, γ es la densidad en peso de la masa de suelo que desliza (~2 tonf/m³), L es la dimensión de la masa de suelo que desliza medida a lo largo del talud, α es la inclinación del talud, y Su es la resistencia al corte que se desarrolla en la base de la masa de suelo que desliza. Por ejemplo, para un talud de inclinación 40°, con espesor de suelo igual a 1.5 m, y longitud $L = 5$ m, se tiene que $D = 4.8$ m.

¹² Se adjunto como formato digital (CD) la tabla adquirida con cada polígono resultante y su consiguiente cruce de variables. Tabla de remoción en masa en Excel.

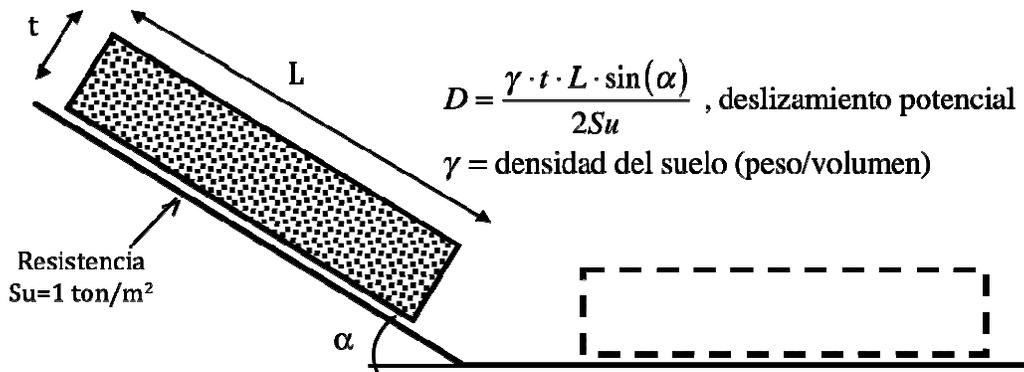


Figura 24 Modelo utilizado para la definición del buffer alrededor de las zonas con potencial importante de remoción en masa

Por otra parte, el potencial que tienen las precipitaciones para inducir remociones en masa depende principalmente de su intensidad, duración y distribución. Así, por ejemplo, tanto lluvias de poca intensidad, pero sostenidas en el tiempo, como lluvias de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar eventos de remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello. En general se observa que las precipitaciones cortas e intensas tienden a provocar eventos superficiales, en tanto que las remociones más profundas son usualmente provocadas por eventos distribuidos en largos periodos de tiempo.

2.2.3.1 Síntesis de resultados de remoción en masa sísmica por cada localidad

La Tabla 17 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de remoción en masa para cada localidad de la Región de O’Higgins. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Navidad	Localidad muestra un nivel predominante de amenaza medio a bajo. La zona de amenaza de nivel medio se encuentra ubicada en el extremo nor-oriente de la localidad. Se encuentran pequeñas áreas de nivel de amenaza alto en extremo nor-oriente, a estas se les aplico la formula de desplazamiento las cuales mostrarían pequeño desplazamiento material.
La Boca	Localidad con nivel general de amenaza medio, distribuido de manera relativamente uniforme. Se destaca la presencia de zonas de amenaza relativamente alta a lo largo de una franja limitada que corre de norte a sur en el extremo nor-oriente de la localidad que limita con el Río Rapel, a estas áreas se les aplico la formula de desplazamiento las cuales muestran el posible movimiento del material
Matanzas	Localidad con nivel general de amenaza medio. La excepción la constituyen el borde costero y el extremo oriente de la localidad, los que presentan un nivel de amenaza relativamente más bajo. Se presentan una concentración de pequeñas áreas de nivel de amenaza alto en la parte sur de la localidad, a estas se les aplico la formula de desplazamiento mostrando el probable movimiento de material en estas superficies.

Localidad	Comentarios
Chorrillos	Localidad con nivel de amenaza medio, relativamente más bajo en borde costero.
Puertecillo	Localidad con nivel de amenaza general relativamente bajo. La excepción corresponde a la franja oriente ubicada en los faldeos de los cerros, donde el nivel de amenaza es medio.
Las Brisas	Localidad con nivel de amenaza variable. Amenaza baja hacia el sur, y media hacia el norte (zona de faldeos de los cerros). Existen zonas puntuales con un nivel de amenaza más alto, las que coinciden con aquellas en que la topografía revela la presencia de quebradas y zonas de escurrimiento natural de aguas. A las zonas de nivel alto se les aplicó la fórmula de desplazamiento y muestran el movimiento probable del material.
Pupuya	Nivel de amenaza bajo en toda la localidad.
Topocalma	Localidad presenta un nivel de amenaza bajo en bloque central, y medio en bloques oriente y poniente. También muestra nivel alto en bloques oriente y poniente, a dichos bloques se les aplicó la fórmula de desplazamiento mostrando la probabilidad de movimiento del material.
Pichilemu	Localidad con nivel de amenaza variable. Amenaza de nivel bajo en zonas sur, centro-poniente, norte y nor-poniente. Amenaza de nivel medio en el resto de la localidad.
Cáhuil	Localidad con dos zonas de distinto nivel de amenaza. Nivel bajo en bloque poniente de la localidad. Nivel medio en bloque oriente.
Bucalemu	Sin información.

Tabla 17 Resultados de Remoción en Masa Sísmica, Localidades de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de remoción en masa para cada localidad de la Región del Maule. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Boyeruca	Localidad con nivel de amenaza medio en extremos sur-poniente y sur-oriente. El resto de la localidad presenta un nivel de amenaza bajo.
Llico	En términos generales se observan niveles de amenaza bajo. La excepción corresponde a la zona central del bloque nor-poniente de la localidad, donde el nivel de amenaza es medio.
Lipimávida	Nivel de amenaza general bajo. Se aprecian niveles medios de amenaza en zonas nor-oriente, sur-oriente, y sur-poniente.
Iloca	Localidad con nivel de amenaza bajo en franja central y poniente. El nivel de amenaza sube a medio en la franja oriente de la localidad (zona de faldeos de cerros).
La Pesca	Localidad con nivel de amenaza bajo en sectores poblados. Se destacan amenazas medias en el borde oriente de la localidad.
Duao	Localidad con zonas de amenaza media en franjas más alejadas del borde costero en zona centro y sur. Se aprecia un nivel de amenaza medio hacia el extremo norte de la localidad en zonas con mayor pendiente.
La Trinchera	Localidad con niveles medios de amenaza al oriente y sur-oriente de la localidad. En la zona oriente se observan sectores puntuales de amenaza alta. El resto de la localidad, ubicado en planicies, presenta niveles de amenaza bajos. En los sectores en donde se encuentran nivel de amenaza alto se aplicó la fórmula de desplazamiento mostrando el movimiento del material en un eventual episodio de remoción en masa

Localidad	Comentarios
Constitución	Localidad con niveles generales de amenaza bajos. La excepción la constituyen áreas bien limitadas en los extremos nor-oriente y nor-poniente de la localidad.
Las Cañas	Localidad con niveles generales de amenaza bajos.
Pellines	Localidad con niveles generales de amenaza bajos, salvo en franjas muy delimitadas donde por las condiciones topográficas y de suelo la amenaza es media.
Papirúa	Localidad con niveles generales de amenaza bajos.
Loanco	Localidad con niveles generales de amenaza relativamente bajos.
Pelluhue	Localidad con niveles generales de amenaza bajos. Se observan algunas áreas pequeñas bien limitadas con un nivel de amenaza medio hacia el extremo sur de la localidad.
Curanipe	El extremo sur de la localidad presenta niveles bajos de amenaza, mientras que en el extremo norte se observan algunos sectores con niveles de amenaza medio.
Cardonal	Localidad con nivel de amenaza medio, a excepción del extremo norte donde el nivel de amenaza es relativamente bajo.

Tabla 18 Resultados de Remoción en Masa Sísmica, Localidades de la Región del Maule

Fuente: Elaboración propia

En la mayoría de las localidades analizadas, el nivel de amenaza asociado a este fenómeno es relativamente bajo a medio. En caso de distinguirse zonas con un nivel de amenaza alto dentro de una localidad, éstas se encontraban relativamente bien limitadas. En términos generales, se observa que las localidades de la Región de O'Higgins presentan un nivel de amenaza relativamente mayor al de las localidades de la Región del Maule.

En la Tabla 19 se muestra el área susceptible de ser afectada por la amenaza de remoción en masa destacándose que las el grado de remoción bajo es el que presenta predominantemente en la gran cantidad de localidades.

En la Figura 25 y Figura 26 se muestran los gráficos por localidad en donde se aprecia que predominan el grado bajo de remoción en masa. Esto se da por que las variables analizadas dentro de la modelación predominan ponderaciones bajas como es pendiente, textura, drenaje etc.

Localidad	Grado de Remoción	Área de localidad (m ²)	Área Localidad (Ha)	Área Remoción (m ²)	Área remoción (Ha)	Porcentaje en Hectáreas
Curanipe	Bajo	1339000,00	133,90	1152862,49	115,29	86,10
	Medio	1339000,00	133,90	50281,85	5,03	3,76
Loanco	Bajo	375100,37	37,51	346734,38	34,67	92,44
	Medio	375100,37	37,51	7333,21	0,73	1,95
Papirua	Bajo	1759000,00	175,90	1747303,86	174,73	99,34
	Medio	1759000,00	175,90	8984,54	0,90	0,51
Constitución	Bajo	5768000,00	576,80	5548640,27	554,86	96,20
	Medio	5768000,00	576,80	205437,12	20,54	3,56
La Trinchera	Alto	908235,01	90,82	6421,11	0,64	0,71
	Bajo	908235,01	90,82	617519,99	61,75	67,99
	Medio	908235,01	90,82	171275,41	17,13	18,86

Localidad	Grado de Remoción	Área de localidad (m ²)	Área Localidad (Ha)	Área Remoción (m ²)	Área remoción (Ha)	Porcentaje en Hectáreas
Duafo	Bajo	1399000,00	139,90	683663,64	68,37	48,87
	Medio	1399000,00	139,90	263906,84	26,39	18,86
Lipimavida	Bajo	1975000,00	197,50	1438068,28	143,81	72,81
	Medio	1975000,00	197,50	157777,44	15,78	7,99
Llico	Bajo	773568,91	77,36	726944,06	72,69	93,97
	Medio	773568,91	77,36	44429,68	4,44	5,74
Boyeruca	Bajo	158768,60	15,88	113248,79	11,32	71,33
	Medio	158768,60	15,88	31509,11	3,15	19,85
Navidad	Alto	1393000,00	139,30	512,53	0,05	0,04
	Bajo	1393000,00	139,30	1137492,67	113,75	81,66
	Medio	1393000,00	139,30	195304,65	19,53	14,02
Las Brisas	Alto	216148,42	21,61	857,22	0,09	0,40
	Bajo	216148,42	21,61	64936,12	6,49	30,04
	Medio	216148,42	21,61	147332,68	14,73	68,16
La Boca	Alto	435982,85	43,60	5196,57	0,52	1,19
	Bajo	435982,85	43,60	63725,43	6,37	14,62
	Medio	435982,85	43,60	327279,67	32,73	75,07
Matanzas	Alto	1152000,00	115,20	2645,04	0,26	0,23
	Bajo	1152000,00	115,20	307031,92	30,70	26,65
	Medio	1152000,00	115,20	707734,95	70,77	61,44
Chorrillos	Bajo	34251,46	3,43	14038,31	1,40	40,99
	Medio	34251,46	3,43	20213,14	2,02	59,01
Puertecillo	Bajo	498342,16	49,83	205868,26	20,59	41,31
	Medio	498342,16	49,83	231381,20	23,14	46,43
Topocalma	Alto	156773,24	15,68	320,63	0,03	0,20
	Bajo	156773,24	15,68	69021,85	6,90	44,03
	Medio	156773,24	15,68	87025,15	8,70	55,51
Pichilemu	Bajo	20180000,00	2018,00	12870607,12	1287,06	63,78
	Medio	20180000,00	2018,00	5253909,04	525,39	26,04
Cahuil	Bajo	1913000,00	191,30	1040206,28	104,02	54,38
	Medio	1913000,00	191,30	348243,15	34,82	18,20
La Pesca	Bajo	597783,02	59,78	222566,69	22,26	37,23
	Medio	597783,02	59,78	66088,32	6,61	11,06
Las Cañas	Bajo	1024000,00	102,40	945597,15	94,56	92,34
	Medio	1024000,00	102,40	5325,24	0,53	0,52
Pelluhue	Bajo	2717000,00	271,70	2248844,19	224,88	82,77
	Medio	2717000,00	271,70	101971,99	10,20	3,75
La Vega de Pupuya	Bajo	1592000,00	159,20	1521638,04	152,16	95,58
	Medio	1592000,00	159,20	137,37	0,01	0,01
Curanipe	Bajo	1339000,00	133,90	93147,58	9,31	6,96
	Medio	1339000,00	133,90	93147,58	9,31	6,96
Iloca	Bajo	1827000,00	182,70	1136960,86	113,70	62,23
	Medio	1827000,00	182,70	194432,64	19,44	10,64

Tabla 19 Área susceptible de ser afectado por remoción en masa, por cada localidad en estudio.

Fuente: Elaboración propia

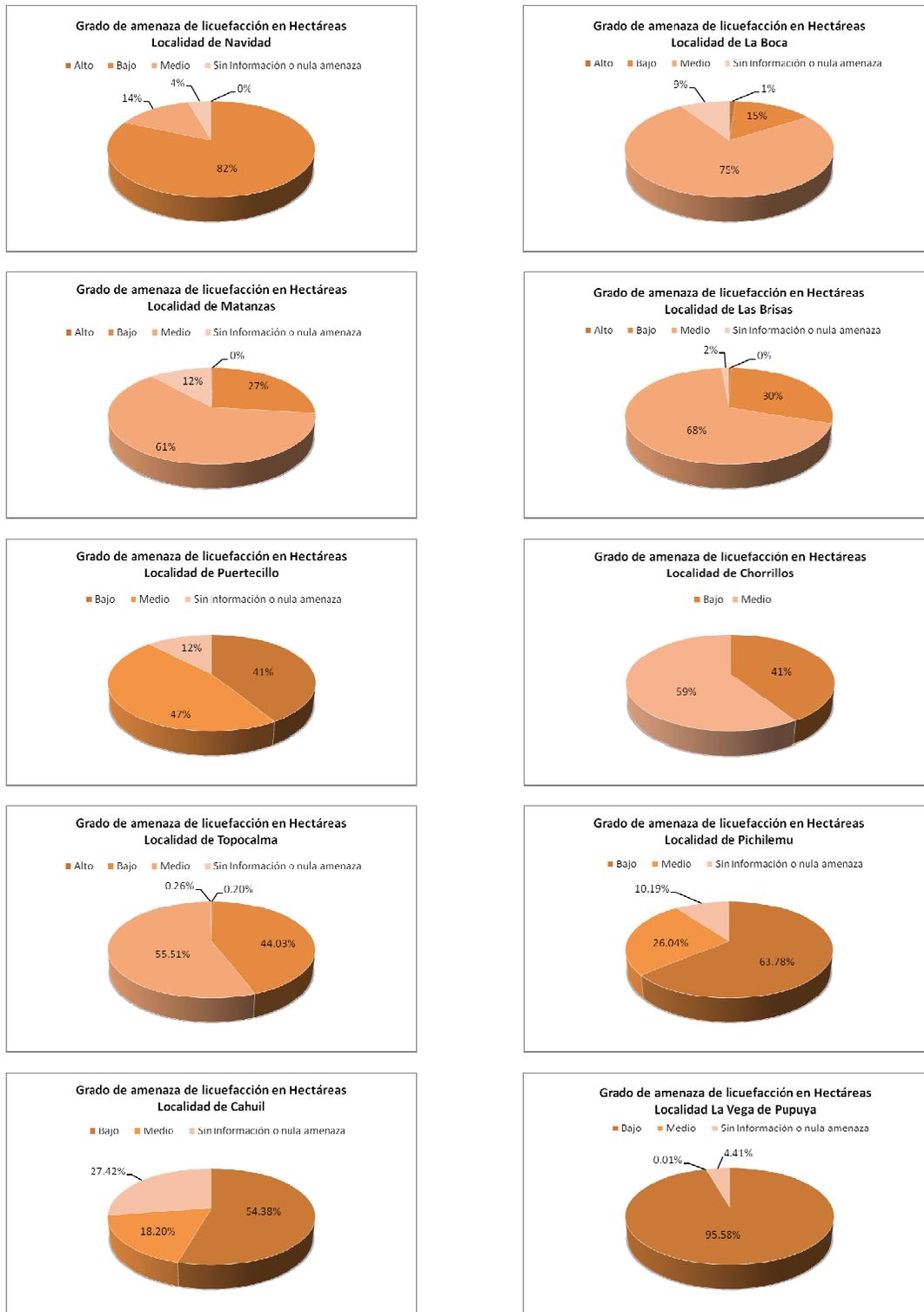
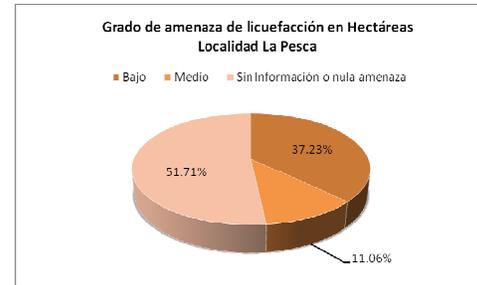
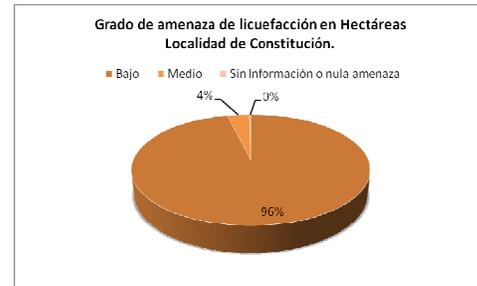
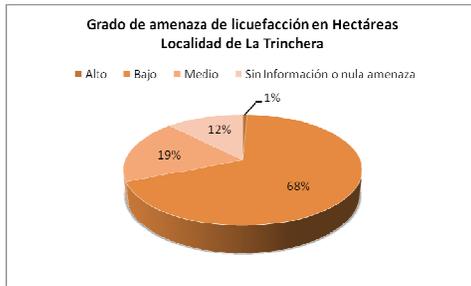
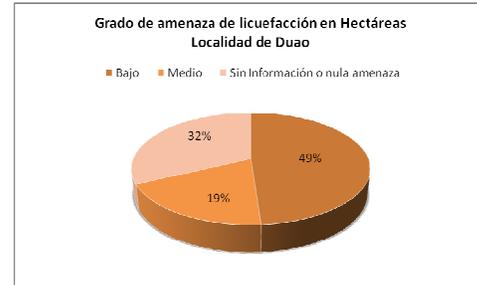
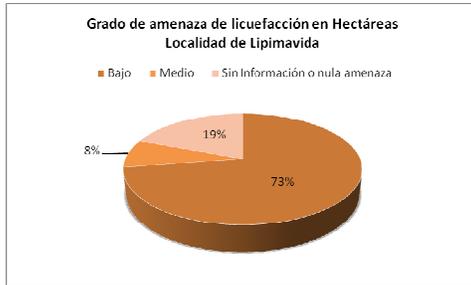
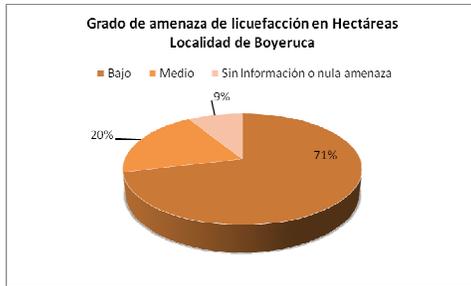


Figura 25 Gráficos de Área susceptible de ser afectado por remoción en masa, por cada localidad de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia



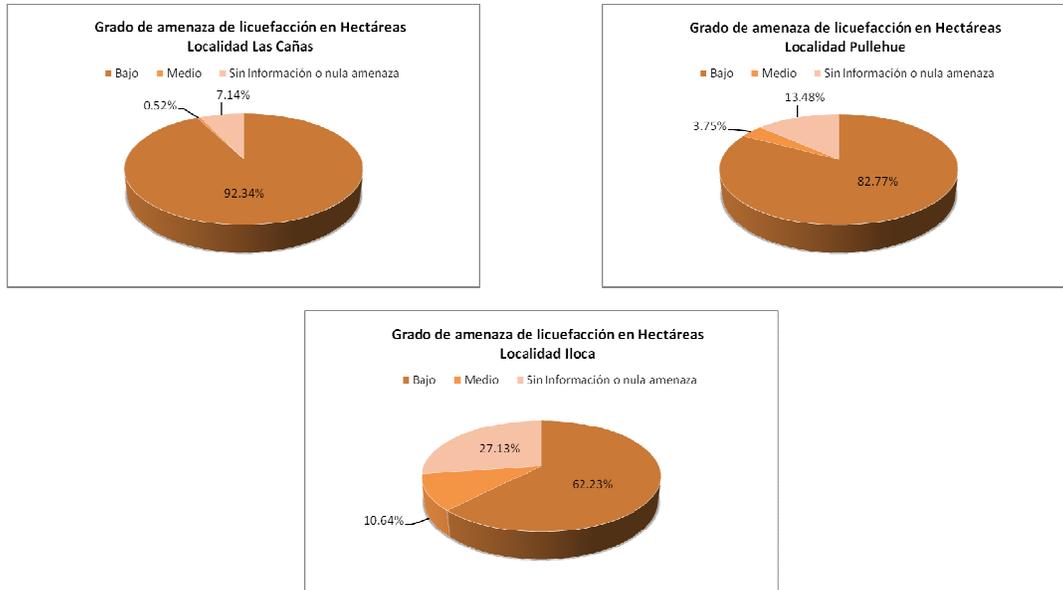


Figura 26 Gráficos de Área susceptible de ser afectado por remoción en masa, por cada localidad de la Región del Maule

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 REMOCIÓN EN MASA PLUVIAL

2.2.4.1 Relación entre la remoción en masa y las precipitaciones.

Los factores que determinan la ocurrencia de un evento de remoción en masa se pueden agrupar en dos categorías: i) los que hacen naturalmente susceptible el sitio a la ocurrencia de fallas (ej.: geología, pendiente, elevación, propiedades geotécnicas del suelo) y ii) las variables que desencadenan la desestabilización del terreno, tales como la lluvia o los terremotos. En particular las variables de esta última categoría resultan difíciles de evaluar pues cambian de estado en lapsos de tiempo muy cortos u ocurren con una baja frecuencia. Habitualmente el análisis de estas variables se hace evaluando los sitios de acuerdo a la susceptibilidad de ser afectados por las variables que desestabilizan el terreno. En base a lo anterior y la información disponible, en este estudio se estableció una relación entre las lluvias y la factibilidad de un proceso de remoción en masa producto de la saturación de humedad del perfil de suelo.

En el área de estudio se identificaron 12 series o asociaciones de suelo de acuerdo a los Estudios Agrológicos publicados por CIREN (1997, 2002). La distribución porcentual de superficie de cada uno en la zona se presenta en la Tabla 20. Alrededor del 65% del área corresponde a dos suelos, las asociaciones Curanipe y Matanzas. El resto de las series presentan porcentajes menores. A partir de los mismos estudios se caracterizaron los horizontes de cada uno de los suelos en base a la profundidad, textura y estratigrafía de cada horizonte.

Serie o asociación de suelo	Símbolo	Superficie	
	cartográfico	Hectáreas	Porcentaje
Asociación Alto Colorado	ALT	223	7,71
Serie Cobquecura	CBC	181	6,25
Serie Chanco	CHA	255	8,81
Asociación Curanipe	CPE	948	32,76
Asociación Caripilún	CR	126	4,37
Serie El Molino	ELM	55	1,90
Asociación Constitución	KT	95	3,28
Serie Lontué	LNT	24	0,82
Serie Lo Vásquez	LVZ	36	1,24
Serie Miraflores	MRF	4	0,13
Asociación Matanzas	MTZ	913	31,55
Serie Ninhue	NNH	34	1,18
Total		2.894	100

Tabla 20 Series y asociaciones de suelo identificadas en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a Estudios Agrológicos de CIREN (1997 y 2002).

Como criterio de evaluación para la factibilidad de ocurrencia de un proceso de remoción en masa se empleó la cantidad de lluvia requerida para saturar cada suelo hasta un metro de profundidad. A cada uno de los horizontes de los suelos identificados se le asignó una porosidad y parámetros de retención de humedad en base a la distribución estratigráfica y las funciones de pedotransferencia propuestas por Rawls et al. (1992). La lámina de agua requerida se calculó como la diferencia entre una condición de suelo casi seco (retención de humedad a 1500 KPa) y la porosidad del mismo. Los principales resultados de estos cálculos se resumen en la Tabla 21. La precipitación requerida para saturar el suelo se calculó empleando la lámina de agua y un coeficiente de escurrimiento igual a 0,3. Tal como se muestra en la última columna de la Tabla 21 y en la Figura 27, los resultados muestran que el suelo de la Asociación Curanipe requiere la menor cantidad de agua para alcanzar el nivel de saturación (300 mm aproximadamente). En contraposición, los suelos de las series y asociaciones Miraflores, Matanzas y Lontué requieren alrededor de 500 mm de lluvia para alcanzar el nivel de saturación.

Serie o asociación de suelo	Textura dominante	Porosidad (cm ³ /cm ³)	Lámina de agua (mm)	Precipitación requerida (mm)
Asociación Alto Colorado	Franco arcillo arenosa	0,459	228	325
Serie Cobquecura	Franco arcillo limosa	0,475	283	404
Serie Chanco	Franco Limosa	0,469	252	360
Asociación Curanipe	Franco arcillosa	0,462	211	301
Asociación Caripilún	Franca	0,462	291	416
Serie El Molino	Franco Limosa	0,432	250	357
Asociación Constitución	Franco arcillo arenosa	0,467	265	379
Serie Lontué	Franco arenosa	0,453	358	511
Serie Lo Vásquez	Franco arcillo arenosa	0,432	316	451
Serie Miraflores	Franco arenosa muy fina	0,463	346	494
Asociación Matanzas	Franco Limosa	0,463	346	494
Serie Ninhue	Franca	0,398	250	357

Tabla 21 Principales propiedades y precipitación requerida para alcanzar el nivel de saturación en los suelos del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2010

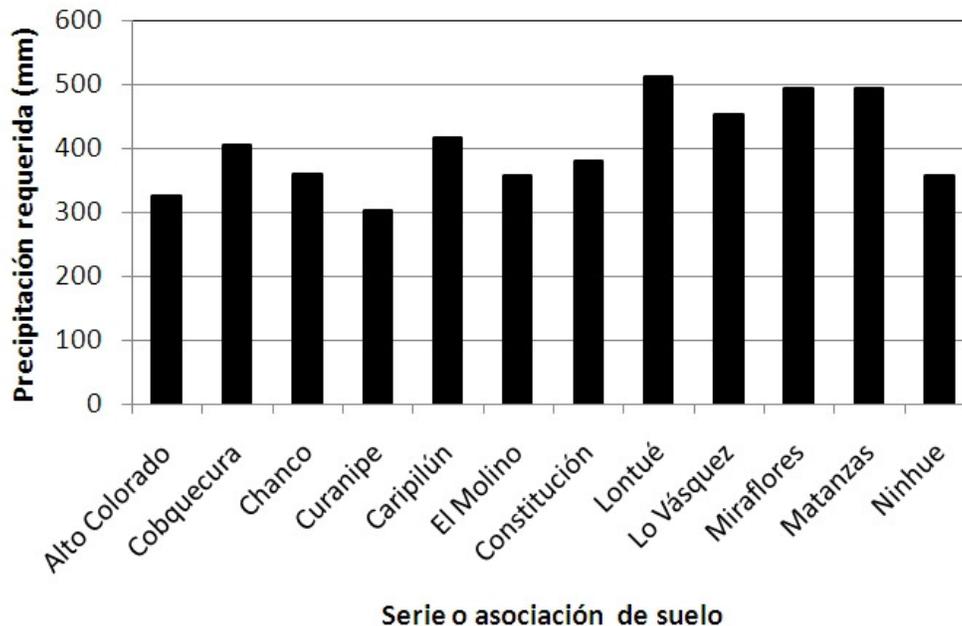


Figura 27 Precipitación requerida para alcanzar el nivel de saturación en los suelos del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2010

Finalmente, a cada tipo de suelo se le asignó una valoración en función de la precipitación necesaria para llevarlo a saturación. Al igual que para el resto de las variables descritas en la Tabla 23, se empleó una escala de 1 a 5. Un valor igual a 1 indica que el suelo es menos susceptible a un fenómeno de remoción en masa debido a que requiere una cantidad mayor de lluvia para alcanzar el nivel de saturación. Por el contrario, y en términos relativos, un valor igual a 5 se asocia a un suelo más propenso a un evento de remoción en masa debido a que requiere una cantidad menor de lluvia para saturar el primer metro del perfil de suelo. Con esta clasificación se definieron cinco intervalos de precipitación de 50 mm cada uno, comenzando el primero en 300 mm y terminando el último en 550 mm. La Tabla 22 presenta los valores asignados a cada una de las series y asociaciones de suelo según los rangos de precipitación considerados. La clasificación así definida muestra que los suelos de la Asociación Lontué, con valoración 1, son los menos propensos a experimentar un proceso de remoción en masa a consecuencia exclusiva de la precipitación. De igual forma, la valoración 5 asignada a las Asociaciones Curanipe y Alto Colorado señala denota una mayor susceptibilidad de estos suelos a una desestabilización del terreno producto de las precipitaciones.

Serie o asociación de suelo	Valoración asignada
Asociación Alto Colorado	5
Serie Cobquecura	3
Serie Chanco	4
Asociación Curanipe	5
Asociación Caripilún	3
Serie El Molino	4
Asociación Constitución	4
Serie Lontué	1
Serie Lo Vásquez	2
Serie Miraflores	2
Asociación Matanzas	2
Serie Ninhue	4

Tabla 22 Valoración asignada a cada tipo de suelo en el área de estudio en función de la precipitación requerida para alcanzar el nivel de saturación.

Fuente: Elaboración propia, 2010

2.2.4.2 Espacialización del fenómeno (Modelación).

Para la modelación del fenómeno de remoción en masa causada por lluvia se tomaron las variables que se utilizaron para la modelación de remoción en masa originada por un evento sísmico como base para el estudio, estas son: “pendiente, vegetación, erosión del suelo,

estructura del suelo, textura del suelo, drenaje de suelo y geología”, y se les agrego esta última variable “Nivel de saturación por precipitación”). Así se conformo una nueva congregación de variables para espacializar el fenómeno en cada localidad, como se muestra en la Tabla 23 con el detalle de las variables empleadas, los rangos considerados, la valoración respectiva, y la ponderación que cada variable tuvo en la modelación final. En este caso se consideraron como más relevantes las variables de: “pendiente”, que al igual como remoción en masa por sismo se le asignó un peso de 25% sobre todas las variables, en cuanto a la capacidad de drenaje del suelo se le designo un peso de 10%, y a la textura de cada tipo de suelo se designó un 15% del total de las variables; para las variables geología, estructura, y nivel de erosión del suelo, se utilizaron ponderaciones de , 15%, 5%, y 10%, respectivamente; mientras que al ítem de vegetación se le asignó un 5% pues su efecto en relación a la capacidad sísmica del talud es bajo; por último a la variable “Nivel de saturación” se le otorgo un peso o ponderación de 15% de la modelación ya que como se dijo anteriormente esta característica tendría una incidencia relevante en el fenómeno causado por lluvia. En cuanto a los rangos y la valoración de cada variable cabe mencionar que se ha dejado tal cual fue en la modelación de remoción en masa por lluvias, y que estas como también la ponderación asignada a cada variable están basadas en el juicio profesional.

En consecuencia, a partir de estos valores, el nivel de amenaza se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$NA = 0,25P + 0,05V + 0,1Se + 0,05Ss + 0,15St + 0,1Sd + 0,15G + 0,15Sns$$

donde *NA* es el nivel de amenaza, y *P*, *V*, *Se*, *Ss*, *St*, *Sd*, *G* y *Sns* representan, respectivamente, la valoración de las variables de pendiente, vegetación, erosión del suelo, estructura del suelo, textura del suelo, drenaje de suelo, geología y nivel de saturación del suelo.

variables		rangos	Valoracion	Ponderado %
Pendiente		0-15°	1	25
		15°-25°	1	
		25°-40°	3	
		40° y mas	5	
vegetación		Bosque	1	5
		Matorral	2	
		Cultivo	2	
		Vega	4	
		sin vegetación	5	
Suelo	Erosión	Sin erosión	1	10
		Ligera	2	
		Moderada	3	
		severa	5	
	Estructura	Masiva	1	5
		Prismatica	2	
		En Bloques	3	
		Laminar	4	
		Particular suelta	5	
		Migajosa	5	
	Textura	Arenosa	1	15
		Franca	1	
		Franco Arenosa fina	1	
		Franco arcillo arenosa	2	
		Franco limosa	2	
		Franco arcillo Limosa	3	
		Franco Arcillosa	4	
		Arcillosa	5	
	Drenaje	Alto	1	10
		Medio	3	
Bajo		5		
Nivel de saturación (Precipitación)	Serie Lontué (LNT)	1	15	
	Serie Lo Vásquez (LVZ)	2		
	Serie Miraflores (MRF)	2		
	Asociación Matanzas (MTZ)	2		
	Asociación Caripilún (CR)	3		
	Serie Cobquecura (CBC)	3		
	Serie Chanco (CHA)	4		
	Serie El Molino (ELM)	4		
	Asociación Constitución (KT)	4		
	Serie Ninhue (NNH)	4		
	Asociación Alto Colorado (ALT)	5		
	Asociación Curanipe (CPE)	5		
	Geología	Tipo de Formación		Pz4a
PzTr4				
Pz4b				
MP1m			3	
CPg				
Jig				
Qf			5	
Qm				
Qe				
Q1				
				100

Tabla 23 Variables de Remoción en masa causada por lluvias

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestra cómo se calculó el nivel de amenaza en la zona nororiente de Curanipe. Para esta zona de la localidad se tienen las siguientes características y correspondientes valoraciones:

Pendiente = 60° (promedio) $\Rightarrow P = 5$

Vegetación = Terreno de cultivo $\Rightarrow V = 3$

Serie de Suelo = CPE-7 (suelos de textura superficial franco arcillosa, profundos, bien drenados, mediana erosión, estructura de bloques sub-angulares medios y gruesos)

\Rightarrow Erosión del Suelo, $Se = 3$

\Rightarrow Estructura del Suelo, $Ss = 3$

\Rightarrow Textura del Suelo, $St = 4$

\Rightarrow Drenaje del Suelo, $Sd = 1$

Geología = Qm (Depósitos litorales: arenas y gravas de playas actuales, que son depósitos recientes) $\Rightarrow G = 5$

\Rightarrow Nivel de saturación del suelo, $Sns = 5$

Los valores anteriores implican que el nivel de amenaza para esta zona de Boyeruca es igual a:

$$NA = 0,25 * 5 + 0,05 * 3 + 0,1 * 3 + 0,05 * 3 + 0,15 * 4 + 0,1 * 1 + 0,15 * 5 + 0,15 * 5 \Rightarrow$$

$$NA = 4,05$$

Dada la manera en que fue construida la metodología, el valor de NA varía entre 1 y 5, y los rangos correspondientes a los niveles de amenaza bajo, medio, y alto fueron 1 a 2, 2.1 a 3.1, y 3.2 a 5, respectivamente. Por lo tanto un valor de $NA = 4,05$ corresponde a un nivel de amenaza Alto para esta área.

2.2.4.3 Síntesis de resultados de la modelación de remoción en masa por lluvias en cada localidad

La Tabla 24 muestra la síntesis por localidad de la región de O'Higgins de la amenaza de remoción en masa por lluvias. Los planos de cada una de las localidades se adjuntarán en la síntesis por localidad.

Localidad	Comentarios
Navidad	La localidad presenta en la parte nororiental del área de estudio una amenaza media alta pero en general el 90% de la localidad presenta una baja amenaza del fenómeno de remoción en masa.
La Boca	Esta localidad predomina en su superficie un nivel de amenaza medio. En el plano se pueden observar zonas de amenaza alta en los costados tanto orientales como ponientes, aumentando en la zona nororiente en la ribera del río Rapel donde se aglomeran zonas de amenaza alta.
Matanzas	En la localidad de Matanzas se puede ver en el plano un nivel de amenaza medio pero que aumenta en sectores cercanos a la costa, sobre todo en la parte nororiental y suroriental del área de estudio.
Chorrillos	Esta localidad presenta un nivel de amenaza media y baja, donde la amenaza se acrecienta de poniente a oriente al aumentar la altura y por consiguiente la pendiente.
Puertecillo	La localidad se presenta con una alta probabilidad de la amenaza, sobretodo en el área oriental donde la pendiente es alta.
Las Brisas	La localidad de la Brisas exhibe un nivel de amenaza media, en el plano se aprecia zonas en el centro del área de estudio con un nivel alto de probabilidad de remoción en masa. La localidad esta se ubica en zonas de alta pendiente.
La Vega de Pupuya	Esta localidad presenta un nivel de amenaza baja con muy pocas áreas de amenaza media.
Topocalma	Esta localidad presenta un nivel medio bajo aunque presenta áreas de alta probabilidad de remoción en masa en franjas de alta pendiente en la zona norponiente.
Pichilemu	La localidad presenta un aumento de la amenaza desde la costa norponiente llegando a un nivel alto en la zona suroriental media.
Cáhuil	En el plano de remoción en masa por lluvias de la localidad de Cáhuil se aprecia un aumento del nivel de amenaza en la parte oriente, donde se refleja un nivel medio y alto.
Bucalemu	Sin información

Tabla 24 Resultados de Remoción en masa por lluvias para Localidades de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 25 muestra la síntesis por cada localidad de la Región del Maule que está incluida dentro del presente estudio. Cada plano correspondiente a la amenaza de remoción en masa por lluvias será incluido en la síntesis por cada localidad.

Localidad	Comentarios
Boyeruca	La localidad de Boyeruca presenta un nivel medio y bajo de amenaza de remoción en masa por lluvias.
Llico	La localidad de Llico presenta un nivel de amenaza medio en toda el área de estudio.
Lipimávida	Esta localidad presenta un nivel de amenaza medio, en el plano se observan pequeñas zonas a lo largo de la parte oriental con un nivel de remoción en masa alta.
Iloca	La localidad posee un nivel de amenaza media y baja. El nivel medio se presenta en la franja oriente del área de estudio.
La Pesca	En la localidad se observa un nivel bajo de amenaza aun cuando presenta polígonos medios de amenaza en su parte oriental.
Duao	En la localidad se puede observar el aumento del nivel de probabilidad de la amenaza en toda su franja oriental, donde se presentan las mayores pendientes.
La Trinchera	La localidad presenta un nivel de amenaza baja en su área poniente y central mientras que la zona suroriental este nivel aumenta ostensiblemente (medio y alto).
Constitución	Se presenta con un nivel de amenaza media observándose áreas de niveles más altos en planos de topografía más elevados.
Las Cañas	En esta localidad denota se observa un nivel de amenaza medio bajo. Se puede observar pequeñas zonas en la parte norte del área de estudio donde el nivel de remoción en masa es alto.
Pellines	Esta localidad presenta un nivel de remoción medio y bajo, observándose el nivel medio disperso por todo el sector costero.
Papirúa	La localidad presenta un nivel principalmente bajo, con algunos polígonos de nivel medio distribuidos en el área de estudio.
Loanco	En general esta localidad presenta un nivel medio de amenaza, concentrando solo pequeñas zonas de niveles alto de amenaza, localizados en la zona poniente.
Pelluhue	En esta localidad los niveles de amenaza medio y alto de remoción en masa por lluvias se concentran en la parte sur de la localidad, se destacan importantes sectores con un nivel alto de amenaza.
Curanipe	Se puede apreciar en el plano de amenaza de remoción en masa por lluvias de la localidad de Curanipe que el nivel medio es el que predomina en gran parte de la localidad destacándose niveles altos la parte más norte de la localidad.
Chovellén	En general en toda la localidad se presenta con un nivel medio de amenaza.

Tabla 25 Resultados de Remoción en masa por lluvias para Localidades de la Región del Maule

Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar, en la mayoría de las localidades el nivel de amenaza es medio, pero se tiene que tomar en cuenta que en la mayoría de las áreas de estudio se encuentran sectores con un nivel de “alta” amenaza esto debido principalmente a la integración de la variable “Nivel de saturación del suelo” que al sumarse con la pendiente han generado, en comparación con la remoción en masa por sismo, un incremento de la probabilidad de este fenómeno en áreas escarpadas.

Pese a lo anterior, es necesario aclarar que esta modelación no se integrara al estudio de riesgo ya que según el estudio realizado la probabilidad de que ocurra un evento de remoción en masa por

saturación pluvial es extremadamente baja. Esto debido a que en las macrozonas donde se encuentran estas localidades la cantidad de lluvia que recibe no es suficiente para llegar a saturar los suelos. Lo anterior se escapa del análisis del suelo “Asociación Curanipe” que es la estrata que llegaría a saturarse con menos cantidad de milímetros de agua (300 mm aproximadamente) en las dos regiones versus los periodos de retornos establecidos hasta los 200 años que no alcanzan a llegar a los a 215 milímetros en 24 horas, como se puede ver en la Tabla 26. Por lo tanto, la ocurrencia del fenómeno esta expresada en aproximadamente 300 años.

Localidades	10	20	50	100	200
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
La Boca	97	122	142	158	174
Las Brisas	98	123	143	160	176
Navidad	98	123	143	160	176
Matanzas	99	124	145	161	178
Pupuya	100	125	146	163	179
Chorrillos	100	125	146	163	179
Puertecillo	100	125	146	163	179
Topocalma	100	125	146	163	179
Pichilemu	103	129	151	168	185
Cahuil	108	135	158	176	194
Bucalemu	116	145	170	189	208
Boyeruca	115	144	168	187	206
Lico	114	143	167	186	204
Lipimávida	113	142	165	184	203
Duao	111	139	162	181	199
Iloca	112	140	164	182	201
La Pesca	120	150	176	195	215
La Trinchera	120	150	176	195	215
Constitución	120	150	176	195	215
Las Cañas	110	138	161	179	197
Pellines	100	125	146	163	179
Papirúa	100	125	146	163	179
Loanco	99	124	145	161	178
Pelluhue	105	132	154	171	188
Curanipe	103	129	151	168	185
Chovellén	101	127	148	164	181

Tabla 26 Periodo de retorno para lluvias de duración distinta a 24 horas (años)

Fuente: Elaboración propia

2.2.5 LICUEFACCIÓN

Para evaluar el nivel de amenaza asociado a este fenómeno se desarrolló una metodología propia basada en el tipo y calidad de información disponible a la fecha de emisión de este informe. Dado que la información existente al respecto es limitada y esencialmente descriptiva, el procedimiento que a continuación se presenta es cualitativo en cuanto establece las zonas de una determinada localidad que tienen asociada una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno, pero no existe

una estimación de, por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en una cierta ventana de tiempo o para distintas intensidades de eventos sísmicos.

El nivel de amenaza que se definió para cada localidad está basado en la ocurrencia de un evento sísmico capaz de inducir un nivel máximo de aceleración horizontal de terreno igual a $0.4g$ ($g=9.81 \text{ m/s}^2$). El valor de $0.4g$ es consistente con la aceleración máxima efectiva en el terreno definida en la norma chilena NCh433-“Diseño Sísmico de Edificios” para la zona costera de las regiones estudiadas. Lamentablemente, no es posible comparar los resultados de esta modelación con el comportamiento de los suelos en términos de licuefacción frente al terremoto del 27 de Febrero de 2010, pues gran parte de la potencial evidencia de licuefacción fue borrada por el tsunami que ocurrió en forma posterior al terremoto.

Para efectos de estimar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción se consideraron variables de características geológicas y del tipo del suelo presente en el sector. Dentro de cada variable se identificaron una serie de rangos y a cada rango se le otorgó una valoración, donde los números más altos representan una condición más favorable para la ocurrencia del fenómeno de licuefacción.

En términos de geología se agruparon dentro del mismo rango las formaciones Pz4a, PzTr4, Pz4b, MP1m, CPg, y Jig (principalmente rocas metamórficas e intrusivas) y se les dio la más baja valoración. Por otra parte, las formaciones Qf, Qm, Qe, y Q1 (rocas sedimentarias) se agruparon dentro del rango de mayor valoración. La valoración asignada a cada tipo de formación geológica está basada en el juicio profesional y se fundamenta en el hecho de que las formaciones más recientes tienden a tener un mayor potencial de licuefacción que las formaciones más antiguas.

En relación al tipo de suelo se hizo una subdivisión adicional en términos del tipo de textura y condición de drenaje de los materiales que constituyen el suelo de fundación. En términos de textura, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones franco arcillosa, arcillosa, franco arcillo limosa, franco, franco limosa, franco arenosa fina, franco arcillo arenosa, y arenosa. En términos de drenaje, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones de alto, medio, y bajo drenaje. La valoración asignada a cada variable está basada en el juicio profesional, y el raciocinio detrás de los valores adoptados es que los suelos más propensos a sufrir licuefacción son aquellos más bien arenosos y con malas condiciones de drenaje. Por el contrario, aquellos suelos con mucho contenido de finos (arcillas principalmente), o aquellos con buenas condiciones de drenaje, tienen un menor potencial de licuefacción.

La Tabla 27 muestra el detalle de las variables empleadas, la valoración respectiva, y la ponderación que cada variable tuvo en la modelación final. Se consideraron como más relevantes la capacidad de drenaje del suelo (50%), y su textura (30%); a la variable de geología se le asignó un 20%. La ponderación asignada a cada variable está basada en el juicio profesional. A partir de estos valores, el nivel de amenaza se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$NA = 0.3St + 0.5Sd + 0.2G$$

donde NA es el nivel de amenaza, y St , Sd , y G representan, respectivamente, la valoración de las variables de textura del suelo, drenaje del suelo, y geología.

Variables		Características	Puntaje	Ponderación
Suelo	Textura	Arenosa	5	30%
		Franco arcillo arenosa	5	
		Franco Arenosa fina	5	
		Franco limosa	4	
		Franco	2	
		Franco arcillo Limosa	1	
		Arcillosa	1	
	Franco Arcillosa	1		
	Drenaje	Alto	1	50%
		Medio	3	
Bajo		5		
Geología	Tipo de Formación	Pz4a	1	20%
		PzTr4		
		Pz4b		
		MP1m	1	
		CPg		
		Jig		
		Qf	5	
		Qm		
		Qe		
		Q1		

Tabla 27 Variables Licuefacción

Fuente: Elaboración propia

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestra cómo se calculó el nivel de amenaza en la localidad de Navidad. Para esta zona de la localidad se tienen las siguientes características y correspondientes valoraciones:

Serie de Suelo = TR-2 (suelos de textura arenosas, ligeramente profundos, y de drenaje imperfecto).

⇒ Textura del Suelo, $St = 5$

⇒ Drenaje del Suelo, $Sd = 3$

Geología = Qe (roca sedimentaria) ⇒ $G = 5$

Los valores anteriores implican que el nivel de amenaza para esta zona de Navidad es igual a: NA=4.0

Dada la manera en que fue construida la metodología, el valor de NA varía entre 1 y 5, y los rangos correspondientes a los niveles de amenaza bajo, medio, y alto fueron 1 a 2, 2.1 a 3.1, y 3.2 a 5, respectivamente. Por lo tanto un valor de NA = 4.0 corresponde a un nivel de amenaza alto para esta área. Lo que en este caso se justifica por la cercanía del Estero Navidad a esta zona.

2.2.5.1 Síntesis de resultados de la modelación de licuefacción por cada localidad

La Tabla 28 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de licuefacción para cada localidad de la Región de O'Higgins. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Navidad	Nivel de amenaza relativamente alto en ribera nor-oriental del Estero Navidad.
La Boca	Nivel de amenaza relativamente alto en algunas zonas más cercanas al borde nor-oriental de la localidad (cerca del Río Rapel).
Matanzas	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Chorrillos	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Puertecillo	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Las Brisas	Nivel de amenaza relativamente alto en zonas más próximas al Estero Navidad.
La Vega de Pupuya	Nivel de amenaza alto en área de tamaño reducido en la zona norte de la localidad, próxima al Estero Pupuya.
Topocalma	Nivel de amenaza relativamente alto en la z. norte de la localidad (cerca a Laguna Topocalma).
Pichilemu	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Cáhuil	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Bucalemu	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>

Tabla 28 Resultados de Licuefacción para Localidades de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 29 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de licuefacción para cada localidad de la Región del Maule. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Boyeruca	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Llico	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Lipimávida	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Iloca	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
La Pesca	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Duao	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
La Trinchera	Nivel de amenaza relativamente alto en borde sur de la localidad, debido a la presencia de suelos de depositación reciente con malas condiciones de drenaje.
Constitución	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>

Las Cañas	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Pellines	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Papirúa	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Loanco	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Pelluhue	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Curanipe	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>
Cardonal	<i>Nivel de amenaza bajo.</i>

Tabla 29 Resultado de modelación de licuefacción para localidades de la Región del Maule

Fuente: Elaboración propia

Del total de localidades estudiadas, y de acuerdo a los criterios empleados en esta modelación, menos del 25% de ellas presenta niveles importantes de amenaza de licuefacción. En aquellas localidades donde se estimó que existía amenaza relativamente alta de licuefacción, ésta tendió a ser localizada en sectores cercanos a cursos naturales de agua.

La Tabla 30 muestra las áreas susceptibles de ser afectadas por licuefacción, de todas las localidades que muestran un grado de amenaza muestra un grado de licuefacción bajo.

Localidad	Grado de Licuefacción	Area Localidad (m ²)	Area Localidad (Ha)	Area Licuefacción (m ²)	Area Licuefacción (Ha)	Porcentaje
Constitución	Bajo	10150000,00	1015,00	200062,36	20,01	1,97
Curanipe	Bajo	1339000,00	133,90	1297000,00	129,70	96,86
La Boca	Alto	1093000,00	109,30	40741,15	4,07	3,73
	Bajo	1093000,00	109,30	313154,53	31,32	28,65
La Pesca	Bajo	595277,64	59,53	244365,66	24,44	41,05
La Trinchera	Alto	908235,01	90,82	182837,06	18,28	20,13
	Bajo	908235,01	90,82	725397,94	72,54	79,87
La Vega de Pupuya	Bajo	1598000,00	159,80	76277,33	7,63	4,77
	Alto	1598000,00	159,80	7069,68	0,71	0,44
Las Brisas	Alto	1065000,00	106,50	264055,40	26,41	24,79
	Bajo	1065000,00	106,50	632559,88	63,26	59,40
Las Cañas	Bajo	1024000,00	102,40	358962,40	35,90	35,05
	Medio	1024000,00	102,40	67888,08	6,79	6,63
Loanco	Bajo	373924,49	37,39	373897,55	37,39	99,99
Matanzas	Bajo	1152000,00	115,20	334449,71	33,45	29,03
Navidad	Alto	1393000,00	139,30	330208,73	33,02	23,70
	Bajo	1393000,00	139,30	155368,60	15,54	11,15
Pelluhue	Bajo	2717000,00	271,70	1324000,00	132,40	48,73
	Bajo	23170000,00	2317,00	3712,53	0,37	0,02
	Medio	23170000,00	2317,00	1210,26	0,12	0,01
Topocalma	Alto	156773,24	15,68	28622,89	2,86	18,26
	Bajo	156773,24	15,68	18510,42	1,85	11,81

Tabla 30 Área susceptible de ser afectado por licuefacción, por cada localidad en estudio

Fuente: Elaboración propia

2.2.6 AMPLITUD SISMICA

De acuerdo a la norma NCh433Of.96 (“Diseño Sísmico de Edificios”) en el territorio nacional se distinguen tres zonas sísmicas dependiendo de la intensidad del movimiento sísmico que se espera en tales áreas, lo que a su vez es función de la correspondiente interacción entre las placas continental y de Nazca. Las figuras siguientes muestran tal zonificación sísmica.

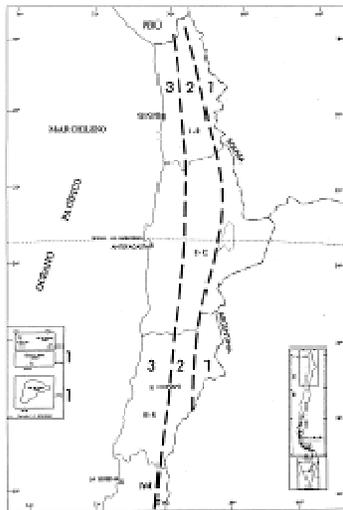


Figura 28 Zonificación sísmica de las Regiones I, II y III

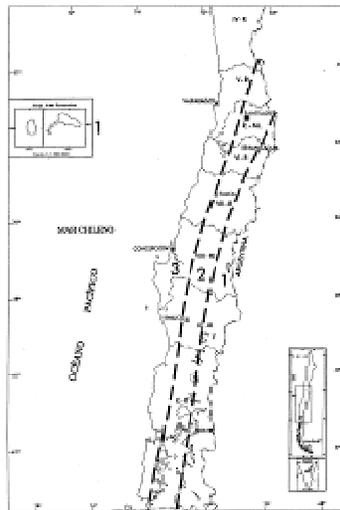


Figura 29 Zonificación sísmica de las Regiones IV, V, VI, VII, VIII, IX, X y Región Metropolitana

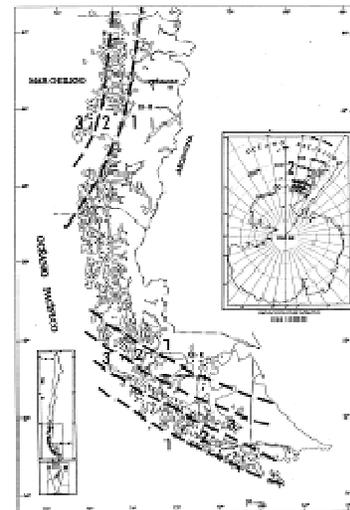


Figura 30 Zonificación sísmica de las Regiones XI y XII

Tal como se aprecia en las figuras anteriores todas las localidades analizadas en este estudio se encuentra en Zona Sísmica 3, la que corresponde a la de mayor intensidad sísmica. De manera aproximada, y para efectos de hacer una distinción inicial entre distintas localidades, se recopiló las características geológicas y de los distintos suelos presentes en cada localidad y se consideró que los materiales de fundación menos rígidos podrían, potencialmente, amplificar los movimientos sísmicos del nivel de fundación de una estructura liviana. Se reconoce, sin embargo, que esta distinción es muy aproximada. Si se desea evaluar el real nivel de amenaza sísmica en cada localidad se recomienda efectuar análisis específicos de riesgo sísmico donde se tengan en cuenta, entre otros factores, la presencia de fallas de distinto tipo, con sus respectivos tiempos de ocurrencia e intensidades asociadas, leyes de atenuación apropiadas, y la caracterización geomecánica de los suelos de fundación.

Es importante notar que el efecto de amplificación sísmica no afecta a todos los tipos de estructuras por igual. En términos simples, para terremotos de diseño (no eventos extremos), los estratos de suelo blando tienden a amplificar las aceleraciones que mueven las fundaciones de las estructuras y, adicionalmente, “filtran” el contenido de frecuencias del movimiento de roca basal

tendiendo a afectar más severamente, en términos relativos, a estructuras más flexibles (e.g., edificios altos y puentes de gran altura). En cualquier caso, la experiencia de terremotos pasados muestra que las zonas con depósitos blandos de suelo tienden a concentrar un nivel de daño mayor que otras zonas con suelos más competentes.

El nivel de amenaza que se definió para cada localidad está basado en la ocurrencia de un evento sísmico capaz de inducir un nivel máximo de aceleración horizontal de terreno igual a $0.4g$ ($g=9.81 \text{ m/s}^2$). El valor de $0.4g$ es consistente con la aceleración máxima efectiva en el terreno definida en la norma chilena NCh433-“Diseño Sísmico de Edificios” para la zona costera de las regiones estudiadas.

Para efectos de estimar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de amplificación local del movimiento sísmico se consideraron variables geológicas y del tipo del suelo presente en el sector. Dentro de cada variable se identificaron una serie de rangos y a cada rango se le otorgó una valoración, donde los números más altos representan una condición más favorable para la ocurrencia del fenómeno de amplificación.

En términos de geología se agruparon dentro del mismo rango las formaciones Pz4a, PzTr4, Pz4b, MP1m, CPg, y Jig (principalmente rocas metamórficas e intrusivas) y se les dio la más baja valoración. Por otra parte, las formaciones Qf, Qm, Qe, y Q1 (rocas sedimentarias) se agruparon dentro del rango de mayor valoración. La valoración asignada a cada tipo de formación geológica está basada en el juicio profesional y se fundamenta en el hecho de que las formaciones más recientes tienden a tener menor rigidez que las formaciones más antiguas.

En términos del tipo de suelo se consideró únicamente el tipo de textura de los materiales que constituyen el suelo de fundación. En este sentido, y con una valoración creciente, se utilizaron las clasificaciones arenosa, franca, franco arenosa fina, franco arcillo arenosa, franco limosa, franco arcillo limosa, franco arcillosa, y arcillosa. La valoración asignada a cada variable está basada en el juicio profesional, y el raciocinio detrás de los valores adoptados es que los suelos más propensos a amplificar los movimientos sísmicos son aquellos más bien arcillosos.

La Tabla 31 muestra el detalle de las variables empleadas, la valoración respectiva, y la ponderación que cada variable tuvo en la modelación final. Se consideró como más relevante la característica de textura del suelo (70%), mientras que a la variable de geología se le asignó un 30%. La ponderación asignada a cada variable está basada en el juicio profesional. A partir de estos valores, el nivel de amenaza se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$NA = 0.7St + 0.3G$$

donde NA es el nivel de amenaza, y St y G representan, respectivamente, la valoración de las variables de textura del suelo y geología.

Variables		Rangos	Valoración	Ponderación
Suelo	Textura	Arenosa	1	70%
		Franca	1	
		Franco Arenosa fina	1	
		Franco arcillo arenosa	2	
		Franco limosa	2	
		Franco arcillo Limosa	4	
		Franco Arcillosa	4	
		Arcillosa	5	
Geología	Tipo de Formación	Pz4a	1	30%
		PzTr4		
		Pz4b		
		MP1m	1	
		CPg		
		Jig		
		Qf	5	
		Qm		
		Qe		
		Q1		

Tabla 31 Variables de grado de sismicidad

Fuente: Elaboración propia

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestra cómo se calculó el nivel de amenaza en la localidad de Navidad. Para esta zona de la localidad se tienen las siguientes características y correspondientes valoraciones:

Serie de Suelo = TR-2 (suelos de textura arenosas, ligeramente profundos, y de drenaje imperfecto)

⇒ Textura del Suelo, $St = 1$

Geología = Qe (roca sedimentaria) ⇒ $G = 5$

Los valores anteriores implican que el nivel de amenaza para esta zona de Navidad es igual a:

$$NA = 0.7 \times 1 + 0.3 \times 5$$

$$NA = 2.2$$

Dada la manera en que fue construida la metodología, el valor de *NA* varía entre 1 y 5, y los rangos correspondientes a los niveles de amenaza bajo, medio, y alto fueron 1 a 2, 2.1 a 3.1, y 3.2 a 5, respectivamente. Por lo tanto un valor de *NA* = 2.2 corresponde a un nivel de amenaza medio para esta área.

2.2.6.1 Síntesis de resultados de la modelación de Amplitud Sísmica por cada localidad

La Tabla 32 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de amplitud térmica para cada localidad de la Región de O'Higgins. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Navidad	Nivel de amenaza bajo a medio en franja central de la localidad, y alto en extremo norte de la localidad y en franja perimetral oriente que corre en dirección norte-sur.
La Boca	Nivel general de amenaza alto; medio a bajo en franja oriente de la localidad.
Matanzas	Nivel de amenaza general alto; bajo en extremo oriente de la localidad.
Chorrillos	Nivel de amenaza alto en toda la localidad.
Puertecillo	Nivel de amenaza alto en mitad oriente de la localidad (zona de cerros).
Las Brisas	Nivel de amenaza general relativamente alto, salvo en el extremo sur donde el nivel de amenaza es medio.
La Vega de Pupuya	Nivel general de amenaza bajo, con excepción del extremo poniente de la localidad, donde el nivel de amenaza es medio.
Topocalma	Nivel de amenaza bajo en zona central de la localidad y alto en zonas más perimetrales.
Pichilemu	Nivel general de amenaza bajo en bloque nor-oriente y medio en zona centro-sur.
Cáhuil	Nivel de amenaza medio en franja más hacia el oriente de la localidad.
Bucalemu	Sin información.

Tabla 32 Resultados de modelación de amplificación sísmica para localidades de la Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 muestra los comentarios de los resultados de la modelación de amplitud térmica para cada localidad de la Región del Maule. En la síntesis por localidad se incluyen los planos respectivos.

Localidad	Comentarios
Boyeruca	Nivel de amenaza general bajo, se observa zona de nivel medio en extremo sur-poniente de la localidad.
Llico	Nivel general de amenaza medio a bajo.
Lipimávida	Nivel general de amenaza bajo, salvo hacia los extremos norte y sur de la localidad donde el nivel de amenaza es medio.
Iloca	Nivel de amenaza bajo en mitad poniente, y medio en mitad oriente.
La Pesca	Nivel de amenaza bajo en zona costera y central, y alto en franja oriente de la localidad.
Duao	Nivel de amenaza general bajo, con excepción del extremo norte de la localidad donde el nivel es alto a medio.

Localidad	Comentarios
La Trinchera	Nivel de amenaza general bajo, con aumento de amenaza hacia zona oriente de la localidad.
Constitución	Nivel de amenaza general bajo, medio en algunos sectores.
Las Cañas	Nivel general de amenaza bajo; medio en extremo norte de la localidad.
Pellines	Nivel general de amenaza bajo.
Papirúa	Nivel general de amenaza bajo.
Loanco	Nivel general de amenaza medio.
Pelluhue	Nivel de amenaza bajo a medio en bloque norte de la localidad, y alto en bloque sur.
Curanipe	Nivel de amenaza bajo en zona central de la localidad y alto en zonas más perimetrales.
Cardonal	Nivel de amenaza relativamente alto y uniforme en la localidad, más bajo en extremo norte.

Tabla 33 Resultados de modelación de amplificación sísmica para localidades de la Región del Maule

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, se observa que las localidades de la Región de O'Higgins presentan un nivel de amenaza de amplificación sísmica relativamente mayor al de las localidades de la Región del Maule. Tal como se señala al comienzo de esta sección, una alta amplificación sísmica no implica directamente un mayor nivel de daño en las estructuras, pues dependerá, entre otras cosas, del tipo de construcción que esté presente en los sitios. Sin embargo, en términos promedio, existe una tendencia a que el daño estructural sea mayor en zonas con depósitos de suelos de fundación más flexibles que en aquellas con suelos más competentes.

2.3 SÍNTESIS Y MAPAS DE VULNERABILIDAD

2.3.1 METODOLOGÍA

2.3.1.1 Aspectos generales de la metodología

El análisis de vulnerabilidad desarrollado, se sustenta en la definición de Riesgo como Vulnerabilidad x Amenaza y considera como objeto de análisis la sociedad, donde la amenaza corresponde al evento de la naturaleza que presenta la posibilidad de impactar negativamente a un determinado sistema –en este caso, la sociedad- y la vulnerabilidad es la susceptibilidad de dicho sistema a ser impactado negativamente por la amenaza. Respecto al objeto de análisis, es pertinente aclarar que según sus objetivos iniciales, el estudio no contempla el análisis de vulnerabilidad de sistemas naturales u otros sistemas, centrándose en la sociedad como objeto de estudio a través de 4 categorías: población, viviendas, equipamiento e infraestructura.

Se entiende de lo anterior, que la vulnerabilidad es propia del sistema o elemento analizado y en el cálculo de ésta no incide la exposición a una amenaza determinada. Por lo tanto, el análisis de vulnerabilidad se desarrolla para toda la localidad. Bajo la presente metodología, la exposición de determinado elemento a una amenaza, es reflejada en el riesgo, análisis que se realiza posterior al de vulnerabilidad, donde se multiplican vulnerabilidad con amenaza.

Al respecto, el presente análisis considera la vulnerabilidad en dos dimensiones. Por un lado, se evalúa la *vulnerabilidad física* de cada elemento, entendida como la susceptibilidad de éste a que determinada amenaza genere en él un daño físico. En esta dimensión se analizan las construcciones según tres variables; materialidad, altura y estado, y la infraestructura vial según materialidad de carpeta. Por otro lado, es evaluada la *vulnerabilidad funcional*, entendida como el rol que el elemento cumple en la vulnerabilidad total del sistema, en este caso, la sociedad. Aquí son analizados los diferentes equipamientos e infraestructura, según su relevancia o jerarquía tanto en el funcionamiento del sistema como en la capacidad de éste de responder ante las situaciones de amenaza.

La *vulnerabilidad física* entonces, se ha calculado en función de cada amenaza en específico. Para ello, a las variables que definen la condición física de cada elemento, se les asigna un puntaje diferente según la amenaza a la que estarían respondiendo. Así por ejemplo, mientras una construcción de madera tiene una baja vulnerabilidad ante la amenaza de Amplitud Sísmica ya que tiene buena respuesta sísmica, tendrá una alta vulnerabilidad ante la amenaza de Tsunami, ya que

la resistencia mecánica de la madera ante la fuerza de una ola de tsunami es muy baja. Por tanto, cada elemento tendrá 5 cálculos de vulnerabilidad física, uno ante cada amenaza estudiada¹³.

La *vulnerabilidad funcional* en cambio, es independiente de la amenaza y depende del rol que cumple el elemento en el funcionamiento del sistema. Por tanto, cada elemento tendrá sólo un cálculo de vulnerabilidad funcional.

En las diferentes categorías y tipos de elementos, la vulnerabilidad es analizada según el caso, en una de las dos dimensiones o en ambas. En los casos que la vulnerabilidad se analiza en ambas dimensiones, se ponderan generando un valor de vulnerabilidad final ante cada amenaza. Esta ponderación se explica en cada categoría.

Los elementos se analizaron de manera independiente, y los puntajes de vulnerabilidad de cada uno se integran a la tabla de atributos en formato SIG, manteniendo todos los campos que inciden en el análisis de vulnerabilidad. Los mapas de vulnerabilidad serán generados y representados gráficamente para dos amenazas tsunami y remoción en masa, de manera de tener representados casos diferentes. Sin embargo, los análisis de vulnerabilidad de todas las amenazas inciden en el análisis de riesgo, donde sí se generan mapas para todas las amenazas.

La metodología utilizada ha sido elaborada y adaptada a la información con la que se cuenta sobre las localidades en estudio. A causa de esta limitante, se han debido omitir ciertos aspectos que es recomendable incorporar en posteriores profundizaciones del análisis, a medida que se vaya contando con dicha información. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite ir actualizando el análisis de manera de ir precisando tanto el análisis de vulnerabilidad como el de riesgo.

Las variables que se recomienda incorporar en posteriores análisis en la medida en que se cuenta con la información son, según categoría:

Población:

-Grupo Socioeconómico: por vivienda o por sector acotado, considerando a menor ingreso, mayor vulnerabilidad.

-Edad: considerando grupos de mayor edad, más vulnerables.

¹³ Tal como se explica en el capítulo de metodología de mapas de amenazas para Remoción en Masa por lluvia, esta amenaza no se incorpora ni en el análisis de vulnerabilidad ni en el de riesgo, dado que se presenta en períodos de retorno excepcionales, de más de 300 años.

Vivienda:

-Uso, considerando viviendas permanentes con alta vulnerabilidad funcional y viviendas de veraneo, menos vulnerables.

-Características constructivas respecto a amplitud sísmica, como tipo y estado de fundaciones, incidiendo en la vulnerabilidad física de las viviendas.

Equipamiento:

-Rol del equipamiento en la ejecución de planes de emergencia: en aquellos equipamientos críticos que corresponda. Considerando mayor vulnerabilidad ante un rol más importante.

-Características constructivas respecto a amplitud sísmica, como tipo y estado de fundaciones, incidiendo en la vulnerabilidad física de los equipamientos.

Infraestructura, vialidad:

-Jerarquía vial en detalle: diferenciando vías de conexión territorial, principales y secundarias, u otras categorías cuando corresponda.

Infraestructura, puentes:

Sistema constructivo y característica estructural de puentes, incidiendo en la vulnerabilidad física según su resistencia a las diferentes amenazas.

Infraestructura, otros:

-Materialidad y característica estructural de infraestructura de alumbrado, telecomunicaciones y agua potable, incidiendo en la vulnerabilidad según su resistencia a las diferentes amenazas.

2.3.1.2 Aspectos específicos de la metodología

El análisis de vulnerabilidad incluyó las 4 categorías antes mencionadas: población, vivienda, equipamiento e infraestructura. Para aquellos elementos analizados en las dimensiones física y funcional –equipamiento y algunas sub-categorías de infraestructura- éstas se ponderaron con diferentes pesos según el caso.

Cálculo de la vulnerabilidad

Exceptuando Población, los elementos de las diferentes categorías fueron analizados según diferentes variables, las que ponderadas generan el grado de vulnerabilidad ante cada amenaza.

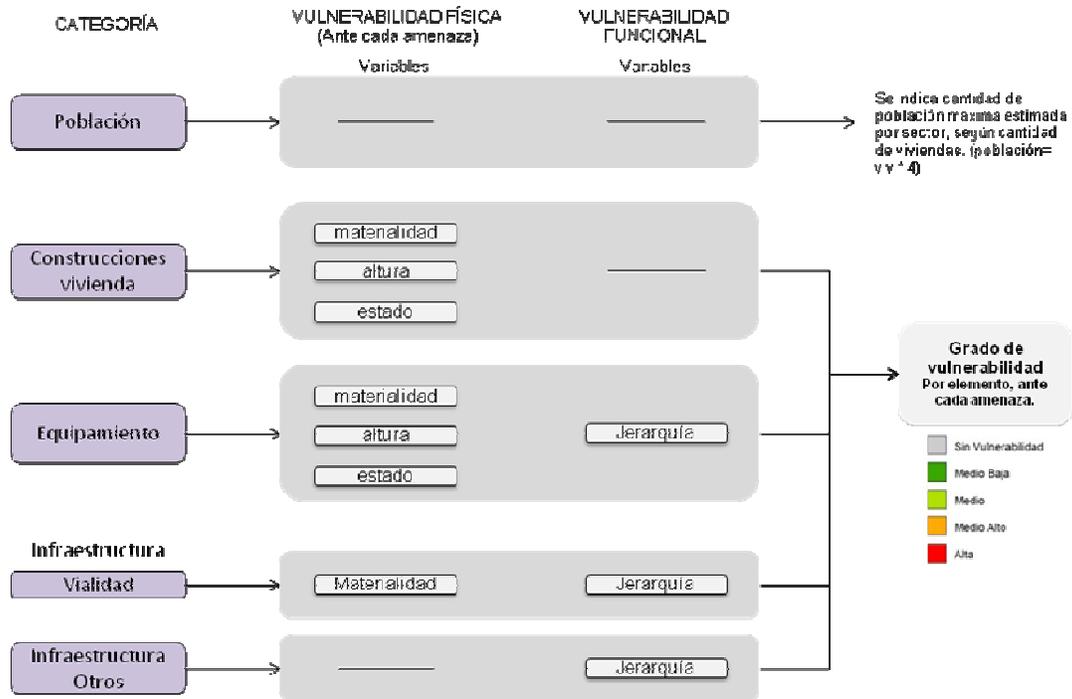


Figura 31. Esquema de Variables utilizadas para cálculo de vulnerabilidad de cada categoría.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el análisis se utilizó información previa al terremoto y tsunami del 27 de Febrero de 2010. Si bien esto implica una imprecisión respecto a la realidad actual, para la fecha que se realizó el estudio no se contaba con información detallada de cada construcción e infraestructura, sobre su estado post 27F. Dado que muchas de las variables, y la evaluación de vulnerabilidad en sí son aspectos cualitativos, fue necesario darles una equivalencia cuantitativa, de manera de poder realizar ponderaciones y el posterior cálculo de riesgo. Los puntajes asignados varían entre 0 y 4 con números enteros, según la siguiente equivalencia:

Grado cualitativo de vulnerabilidad	Valor asignado
SIN VULNERABILIDAD	0
BAJA	1
MEDIA	2
MEDIA-ALTA	3
ALTA	4

Tabla 34. Equivalencia cualitativa de valores de vulnerabilidad asignados

2.3.1.3 Población

Respecto a la población, no se realiza análisis de vulnerabilidad como tal, debido a que no se contaba con la información demográfica necesaria para un correcto análisis de vulnerabilidad

(grupo etario, grupo socioeconómico, organización, entre otros), en el nivel de detalle y con la espacialización requerida¹⁴. Además muchas de las localidades estudiadas son balnearios y no se contaba con la información de población flotante, sino sólo con la información Censo 2002, por lo que la cantidad de población en muchos casos no refleja el escenario más desfavorable, que es temporada alta, con todas las viviendas de veraneo habitadas.

Por estas razones se realizó una estimación de la cantidad de población en base a las viviendas de manera de llegar a una cantidad que representara el escenario más desfavorable, y que a la vez pudiera ser espacializada para posteriormente cruzarse con las áreas afectadas por las diferentes amenazas. Como supuesto, se utilizó el factor de 4 habitantes por vivienda, en base a datos CASEN.¹⁵

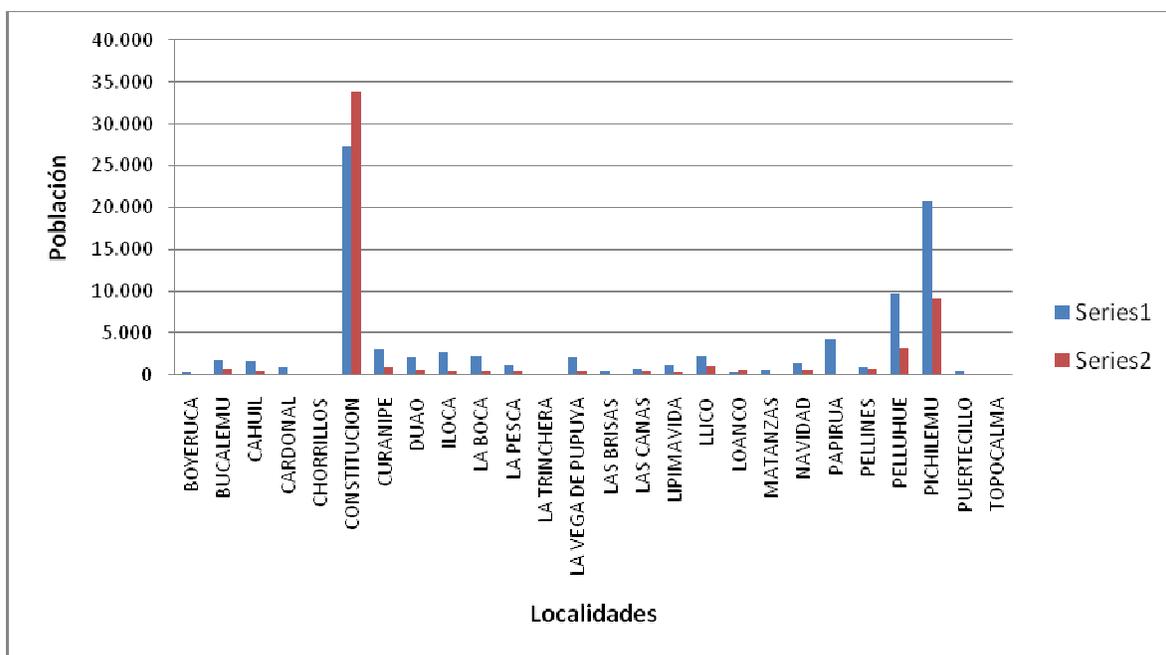


Figura 32. Comparación de población CENSO 2002 y de Población estimada por localidad.

Fuente: Elaboración Propia.

¹⁴ Respecto a la población, se contaba con la información del censo 2002 espacializada en manzanas INE. En numerosos casos, estas manzanas abarcan por completo la localidad, por lo que arrojan resultados demasiado inespecíficos.

¹⁵ La encuesta CASEN arroja un promedio de habitantes por vivienda de 3,98 Hab/vivienda para el Gran Santiago. Para el resto del país el promedio es de 3,8 aproximadamente.

Al comparar en la Figura 32, la población según CENSO 2002 (“Series 2” en la figura) y la población estimada según esta metodología (“Series 1”) la única localidad en que es mayor la población del CENSO 2002 con respecto a la estimación es la ciudad de Constitución, esto se presenta porque en esta ciudad una parte importante de las viviendas se localizan en construcciones en altura, lo que implica que al calcular la población en base a las construcciones, se esté haciendo una subestimación de la población. Sin embargo, se mantuvo la población estimada en el análisis, con el objetivo de utilizar una misma metodología para todas las localidades.

Para obtener el dato de las viviendas se consideraron las construcciones, restando aquellas que presentaban usos no residenciales en los casos que se contaba con esa información. Cuando no se contaba con la información de usos, se consideraron todas las construcciones.

Las construcciones se obtuvieron de la información de los Planes Reguladores Comunes (PRC). Para las localidades que no presentaban información de PRC se digitalizaron¹⁶ en puntos, en base a interpretación de imagen satelital.

El resultado de población estimada, es asignado a sectores en los que fue dividida cada localidad. En los casos en que se contaba con PRC o propuesta de PRC, se definen los sectores en base a la zonificación PRC. En los otros casos, se definen sectores en base a la vialidad, concentración de construcciones, y características geográficas. Estos sectores se grafican en los mapas de vulnerabilidad con códigos según localidad, como se muestra en la Figura 33, mapa de vulnerabilidad ante tsunamis de Bucalemu.

¹⁶ Utilización de ArcGIS 9.3

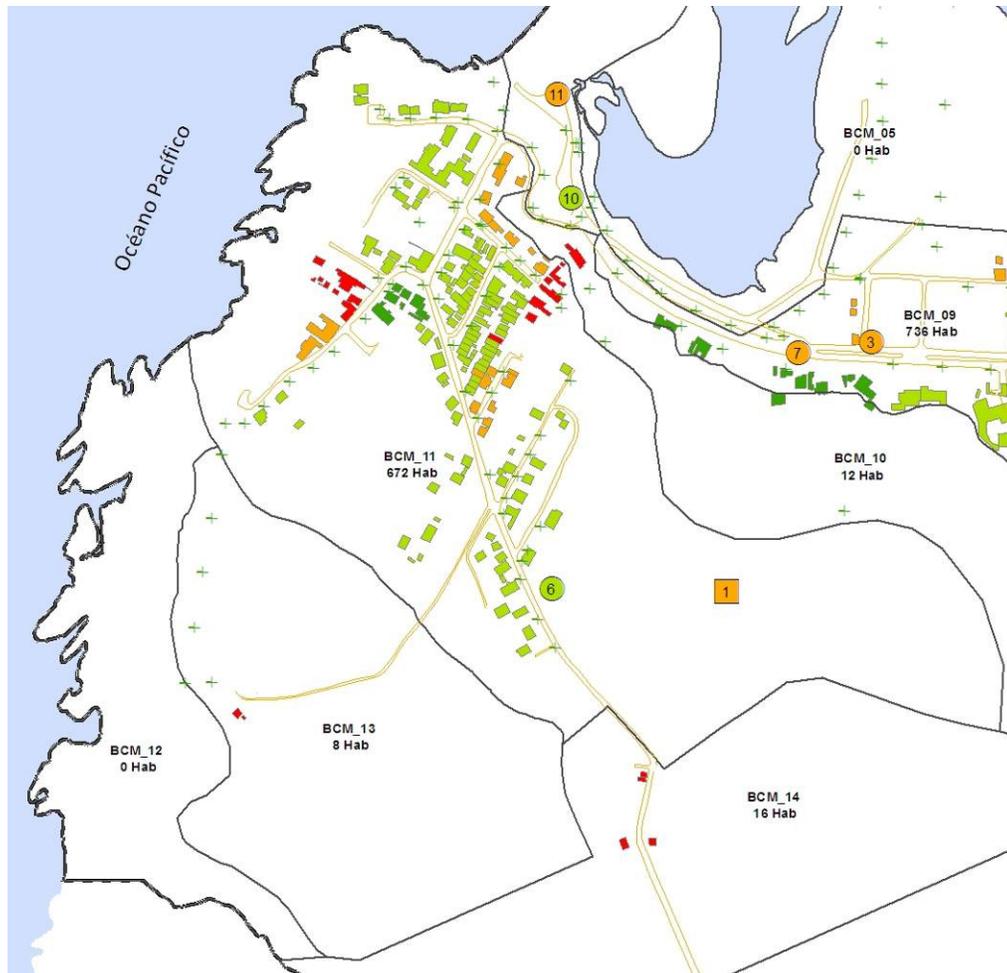


Figura 33. Ejemplo de sectores con número estimado de población, en mapas de vulnerabilidad. Caso de Bucalemu.

Fuente: Elaboración propia OCUC – IEU+T, 2010. En base a PRC, 2010.

2.3.1.4 Construcciones

Si bien “Construcciones” no es una categoría en sí, en las categorías de vivienda y equipamiento, se hace el cálculo de vulnerabilidad física analizando las construcciones bajo la misma metodología, que se presenta a continuación.

La vulnerabilidad física de las construcciones se calcula según tres variables: Materialidad, Altura y Estado, información obtenida de los catastros de los PRC y con la que se contaba para cada construcción, en formato SIG. En los casos que no se cuenta con la información, se considera siempre el escenario más desfavorable, asignándose la máxima vulnerabilidad a cada variable. A continuación se presentan las variables según las cuales se calculó la vulnerabilidad física de las construcciones y los puntajes de vulnerabilidad según cada amenaza, junto con los supuestos que explican los puntajes asignados.

Tanto de la experiencia del reciente tsunami como de estudios y análisis internacionales, se concluye que las características materiales y constructivas de las construcciones son altamente determinantes en la destrucción que los tsunamis ocasionan en éstas. Por esto, son variables que inciden completamente en la vulnerabilidad física de las construcciones ante la amenaza de tsunami (Tabla 35 y Tabla 36).

En el caso de inundación fluvial, se asignan los mismos puntajes que ante tsunami, dada la semejanza en los efectos que estas amenazas tienen sobre las construcciones, y la similitud con que materialidad, altura y estado responden ante ambas amenazas (Tabla 37 y Tabla 38).

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD EN CONSTRUCCIONES SEGÚN AMENAZA DE TSUNAMI					
Materialidad	valor	Altura	valor	Estado	valor
FIERRO	1	>2 PISOS	1	BUENO	0
HORMIGÓN - ALBAÑILERÍA	1	2 PISOS	2	REGULAR-BUENO	1
ADOBE	2	1 PISO	4	REGULAR	2
MADERA	3	-	-	REGULAR-MALO	3
MADERA - DESECHO	4	-	-	MALO	4
SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 35. Variables y puntaje de Vulnerabilidad en construcciones según amenaza de tsunami.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES ANTE AMENAZA DE TSUNAMI	
Variable	Supuesto
Materialidad	A mayor resistencia mecánica, menor vulnerabilidad
	A mayor proceso de carácter artesanal, mayor vulnerabilidad
Altura	A mayor altura, menor vulnerabilidad
Estado	A mejor estado, menor vulnerabilidad

Tabla 36. Variables y supuestos en el análisis de construcciones ante amenaza de tsunami.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD EN CONSTRUCCIONES SEGÚN AMENAZA DE INUNDACIÓN FLUVIAL					
Materialidad	valor	Altura	valor	Estado	valor
FIERRO	1	>2 PISOS	1	BUENO	0
HORMIGON - ALBAÑILERÍA	1	2 PISOS	2	REGULAR-BUENO	1
ADOBE	2	1 PISO	4	REGULAR	2
MADERA	3	-	-	REGULAR-MALO	3
MADERA - DESECHO	4	-	-	MALO	4
SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 37. Variables y puntaje de vulnerabilidad en construcciones según amenaza de inundación fluvial.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES ANTE AMENAZA DE INUNDACIÓN FLUVIAL	
Variable	Supuesto
Materialidad	A mayor resistencia mecánica, menor vulnerabilidad
	A mayor proceso de carácter artesanal, mayor vulnerabilidad
Altura	A mayor altura, menor vulnerabilidad
Estado	A mejor estado, menor vulnerabilidad

Tabla 38. Variables y supuestos en el análisis de vulnerabilidad de construcciones ante amenaza de tsunami.

Fuente: elaboración propia.

Respecto a amplitud sísmica, la vulnerabilidad de las construcciones se asigna según su resistencia sísmica (Tabla 39 y Tabla 40).

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES SEGÚN AMENAZA DE AMPLITUD SÍSMICA					
Materialidad	valor	Altura	valor	Estado	valor
FIERRO	0	1 PISO	1	BUENO	0
MADERA	1	2 PISOS	2	REGULAR-BUENO	1
HORMIGÓN-ALBAÑILERÍA	2	>2 PISOS	4	REGULAR	2
MADERA-DESECHO	3	-	-	REGULAR-MALO	3
ADOBE	4	-	-	MALO	4
SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 39. Variables y puntaje de vulnerabilidad de construcciones según amenaza de amplitud sísmica.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES ANTE AMENAZA DE AMPLITUD SÍSMICA	
Variable	Supuesto
Materialidad	A mayor resistencia sísmica, menor vulnerabilidad
	A mayor proceso de carácter artesanal, mayor vulnerabilidad
Altura	A mayor altura, mayor vulnerabilidad
Estado	A mejor estado, menor vulnerabilidad

Tabla 40. Variables y puntaje de vulnerabilidad de construcciones ante amenaza de amplitud sísmica.

Fuente: elaboración propia.

En el caso de Remoción en Masa por Sismo y Licuefacción, dadas las características de los eventos, se trabaja bajo el supuesto de que la vulnerabilidad de las construcciones no depende de sus características físicas, y que cualquier materialidad, altura y estado son altamente vulnerables (Tabla 41 y Tabla 42)

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES SEGÚN AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA POR SISMO					
Materialidad	valor	Altura	valor	Estado	valor
FIERRO	4	>2 PISOS	4	BUENO	4
MADERA	4	2 PISOS	4	REGULAR-BUENO	4
HORMIGÓN-ALBAÑILERÍA	4	1 PISO	4	REGULAR	4
MADERA-DESECHO	4		-	REGULAR-MALO	4
ADOBE	4		-	MALO	4
SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 41. Variables y puntaje de vulnerabilidad de construcciones según amenaza de remoción en masa.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES ANTE AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA POR SISMO	
Variable	Supuesto
Materialidad	Dada la tecnología actual de construcción eficatoria, y las características destructivas de la amenaza, todas las materialidades se consideran altamente vulnerables.
Altura	Dadas las características de la amenaza, todas las alturas se consideran altamente vulnerables.
Estado	Dadas las características de la amenaza, todos los estados se consideran altamente vulnerables.

Tabla 42. Variables y supuestos en el análisis de vulnerabilidad de construcciones ante amenaza de remoción en masa.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES SEGÚN AMENAZA DE LICUEFACCIÓN					
Materialidad	valor	Altura	valor	Estado	valor
FIERRO	4	>2 PISOS	4	BUENO	4
MADERA	4	2 PISOS	4	REGULAR-BUENO	4
HORMIGÓN-ALBAÑILERÍA	4	1 PISO	4	REGULAR	4
MADERA-DESECHO	4	-	-	REGULAR-MALO	4
ADOBE	4	-	-	MALO	4
SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4	SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 43. Variables y puntaje de vulnerabilidad de construcciones según amenaza de licuefacción.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE CONSTRUCCIONES ANTE AMENAZA DE LICUEFACCIÓN	
Variable	Supuesto
Materialidad	Dada la tecnología actual de construcción edificatoria, y las características destructivas de la amenaza, todas las materialidades se consideran altamente vulnerables.
Altura	Dadas las características de la amenaza, todas las alturas se consideran altamente vulnerables.
Estado	Dadas las características de la amenaza, todos los estados se consideran altamente vulnerables.

Tabla 44. Variables y supuestos en el análisis de vulnerabilidad de construcciones ante amenaza de licuefacción.

Fuente: elaboración propia.

Estos puntajes, son incorporados en un archivo formato Excel que contiene todas las construcciones de las localidades estudiadas, con el análisis de vulnerabilidad y riesgo, para posteriormente incorporarse a las tablas de atributos de los shapes correspondientes, en programa ArcGis. Como ejemplo, se muestra un fragmento de esta tabla en Tabla 45, donde cada fila corresponde a una construcción, identificada por un ID (columna ID_VULNERA). Según los campos MATERIALIDAD, ESTADO y ALTURA, se asigna el puntaje de vulnerabilidad ante tsunami para cada una de esas variables, según las equivalencias de puntaje presentadas en las tablas anteriores, en las columnas MATER_TS, ESTADO_TS, ALTURA_TS respectivamente. Estos tres puntajes, se ponderan (con igual peso para los tres), resultando un puntaje con decimales (VUL_TS_P). Finalmente este puntaje se lleva a números enteros (VUL_TS), considerando que siempre un número con decimales, se aproxima hacia arriba. El resultado, es la columna VUL_TS con el valor de vulnerabilidad física de cada construcción ante tsunamis. De igual manera, se hace el cálculo para las otras amenazas. Como ejemplo, en la Tabla 46 se muestra el cálculo de vulnerabilidad ante Amplitud Sísmica, donde ante las mismas características de MATERIALIDAD, ESTADO y ALTURA, asignan puntajes diferentes en las columnas MATER_TS, ESTADO_TS y ALTURA_TS, resultando finalmente un valor de vulnerabilidad física de cada construcción ante amplitud sísmica (VUL_AS) diferente al de tsunamis.

ID_VULNERA	LOC_OCUC	MATERIALID	ESTADO	ALTURA	MATER_TS	ESTADO_TS	ALTURA_TS	VUL_TS_P	VUL_TS
99	CAHUIL	MADERA	MALO	1	3	4	4	3,67	4
100	CAHUIL	MADERA	BUENO	3	3	0	1	1,33	2
101	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
102	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	3	0	4	2,33	3
103	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	3	0	4	2,33	3
104	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
105	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
106	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
107	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	3	0	4	2,33	3
108	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
109	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	2	1	0	2	1,00	1
110	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2
111	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	1	0	4	1,67	2

Tabla 45. Fragmento de excel para análisis de vulnerabilidad ante tsunami en construcciones.

ID_VULNERA	LOC_OCUC	MATERIALID	ESTADO	ALTURA	MATER_AS	ESTADO_AS	ALTURA_AS	VUL_AS_P	VUL_AS
99	CAHUIL	MADERA	MALO	1	1	4	1	2,00	2
100	CAHUIL	MADERA	BUENO	3	1	0	4	1,67	2
101	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
102	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	1	0	1	0,67	1
103	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	1	0	1	0,67	1
104	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
105	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
106	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
107	CAHUIL	MADERA	BUENO	1	1	0	1	0,67	1
108	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
109	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	2	2	0	2	1,33	2
110	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1
111	CAHUIL	HORMIGON - ALBANILERIA	BUENO	1	2	0	1	1,00	1

Tabla 46. Fragmento de tabla para análisis de vulnerabilidad ante amplitud sísmica en construcciones.

2.3.1.5 Vivienda

Tal como se explica anteriormente, la información sobre las construcciones se obtiene de los PRC. En los casos que se cuenta con la información respecto al uso de las construcciones, se consideran para el análisis sólo las que presentan uso residencial. Cuando no se cuenta con esta información, se consideran todas las construcciones. Por último, en aquellas localidades sin PRC ni catastro de construcciones, se digitalizaron en base a interpretación de la imagen satelital.

Se desarrolló un análisis sólo de vulnerabilidad física, considerando que dada la información actual no es posible jerarquizar entre las viviendas¹⁷. La metodología es la expuesta en el título 2.3.1.4 *Construcciones*.

2.3.1.6 Equipamiento

En el análisis de vulnerabilidad de equipamiento, se incluyen la vulnerabilidad física y vulnerabilidad funcional, ponderándolas según la siguiente ecuación:

$$V_{Am} = [V_{f_{Am}} * 0,6 + V_c * 0,4]$$

Donde V_{Am} es la vulnerabilidad final del elemento ante determinada amenaza, valor que queda representado en los mapas de vulnerabilidad que se desarrollan (específicamente ante tsunami y remoción en masa), y utilizado para el posterior análisis de riesgo. $V_{f_{Am}}$ es la vulnerabilidad física ante determinada amenaza, y V_c es vulnerabilidad funcional. Los decimales se aproximan siempre hacia el entero de arriba (es decir, si la ecuación da resultado por ejemplo 1,22, se aproxima a 2). Es importante tener claro que cada elemento tendrá una vulnerabilidad final (V_{Am}) para cada amenaza.

En la ponderación se le ha asignado más peso a la vulnerabilidad física que a la funcional, bajo el supuesto de que es la vulnerabilidad física la que determina que el equipamiento resista a la amenaza y pueda seguir funcionando después del evento. En este sentido, su función está supeditada a su condición física, considerando de todas maneras que ambas dimensiones son relevantes. En la Tabla 47 se han representado los diferentes resultados que se generan con la ponderación 60% / 40%.

REPRESENTACIÓN PONDERACIÓN VULNERABILIDAD FÍSICA Y FUNCIONAL PARA EQUIPAMIENTO							
		VULNERABILIDAD FÍSICA					
		0	1	2	3	4	
VULNERAB. FUNCIONAL (JERARQUIA)	--	0	0	1	2	2	3
	centro	1	1	1	2	3	3
	posta	2	1	2	2	3	4
	consultorio	3	2	2	3	3	4
	hospital	4	2	3	3	4	4

Tabla 47. Ponderación vulnerabilidad física y funcional en equipamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

¹⁷ Este supuesto es aplicado ya que no se cuenta con información sobre cuáles son vivienda permanente y cuáles vivienda de veraneo, y para el posterior análisis de riesgo se considera el peor escenario, donde todas las viviendas están habitadas. Sin embargo, en una metodología más desarrollada, se podría incorporar la vulnerabilidad funcional a las viviendas, diferenciando entre viviendas permanentes y de veraneo.

El cálculo de la vulnerabilidad física corresponde al de las construcciones, según la metodología expuesta en 2.3.1.4 *Construcciones*, generándose un valor de vulnerabilidad física ante cada amenaza.

El cálculo de la vulnerabilidad funcional, se realiza según la relevancia de cada elemento tanto en el funcionamiento del sistema –es decir, su relevancia en las comunidades estudiadas- como en la capacidad de este sistema de responder ante los eventos de catástrofe. El supuesto general es que aquellos equipamientos críticos, que son fundamentales en el funcionamiento de las comunidades, presentan mayor vulnerabilidad según su jerarquía.

Los diferentes equipamientos se han dividido en sub-categorías: equipamiento crítico, equipamiento económico y otros. A continuación se presenta la metodología utilizada para el cálculo de la vulnerabilidad funcional según estas categorías:

1. EQUIPAMIENTO CRÍTICO

Se considera como aquellos que juegan un rol fundamental en las comunidades, y su correcto funcionamiento es altamente relevante en la capacidad de respuesta de éstas ante los eventos de amenaza. Las variables según las que se asigna el puntaje de vulnerabilidad a cada tipo de equipamiento, son las siguientes:

EQUIPAMIENTO DE SALUD

El puntaje de vulnerabilidad es asignado según la envergadura y jerarquía del establecimiento de salud, bajo el supuesto de que aquellos establecimientos de mayor complejidad y mayor capacidad de atención juegan un rol más importante en las comunidades ante una catástrofe natural. Si bien existen otras variables según las que se puede analizar vulnerabilidad, como el número de camas, o número de especialistas, se ha optado por considerar sólo el tipo de establecimiento, ya que entre las localidades estudiadas sólo se cuentan 3 hospitales, donde hay camas, por lo que no es una variable representativa de los diferentes equipamientos de salud analizados.

SALUD PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN TIPO	
Tipo	valor
Hospital	4
Consultorio	3
Posta	2
Centro de atención	1

Tabla 48. Puntajes de vulnerabilidad funcional en Equipamiento Salud.

Fuente: elaboración propia.

ESCUELAS

El puntaje de vulnerabilidad es asignado según nº de matrículas, considerando más relevantes aquellos establecimientos que asisten a una gran cantidad de la población.

EDUCACIÓN-ESCUELAS PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN Nº DE ALUMNOS	
Nº alumnos matriculados	valor
>500 MATRÍCULAS	4
251-500 MATRÍCULAS	4
101-250 MATRÍCULAS	3
0-100 MATRÍCULAS	2

Tabla 49. Puntajes de vulnerabilidad funcional en escuelas.

Fuente: elaboración propia.

CARABINEROS

En el caso de los establecimientos de carabineros, el puntaje de vulnerabilidad es asignado según jerarquía, considerando el rol que éstos cumplen en el sistema en catástrofes naturales y planes de emergencia.

CARABINEROS PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN CATEGORÍA	
Categoría	valor
Comisaría	4
Tenencia	3
Reten	2

Tabla 50. Puntajes de vulnerabilidad funcional en equipamiento de Carabineros.

Fuente: elaboración propia.

ARMADA

Al igual que en equipamiento de carabineros, en el caso de la armada, el puntaje de vulnerabilidad es asignado según jerarquía, considerando el rol que cumple en catástrofes naturales y planes de emergencia. Especialmente respecto a la información sobre el mar, para el caso de tsunamis.

ARMADA PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN CATEGORÍA	
Categoría	valor
Capitanía puerto	4
Alcaldía de mar	3
Centro de personal	2

Tabla 51. Puntajes de vulnerabilidad funcional en equipamientos de La Armada.

Fuente: elaboración propia.

EQUIPAMIENTO MUNICIPAL

Respecto al equipamiento municipal, el puntaje de vulnerabilidad es asignado según jerarquía de las oficinas, considerando el rol que cumplen las municipalidades en catástrofes naturales y planes de emergencia, respecto a organización e información de la población.

EQUIPAMIENTO MUNICIPAL PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN CATEGORÍA	
Categoría	valor
Municipalidad	4
Oficina municipal	2

Tabla 52. Puntajes de vulnerabilidad funcional en Equipamientos Municipales.

Fuente: elaboración propia.

2. EQUIPAMIENTO ECONÓMICO

CALETAS DE PESCADORES

Se considera que una cantidad importante de las localidades cuenta con una caleta, y algunas basan su actividad económica en la pesca. Esto sumado a que las caletas son un equipamiento que en general implica inversión pública y propiedad colectiva, se les asigna un puntaje de vulnerabilidad variable entre medio y alto, según el número de pescadores que trabaja en ellas.

CALETAS PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN Nº DE PESCADORES	
Nº Pescadores	valor
>200	4
50-200	3
< 50	2

3. Tabla 53. Puntajes de vulnerabilidad funcional en Caletas.

Fuente: elaboración propia.

EQUIPAMIENTO ECONÓMICO – OTROS

Respecto a otros equipamientos económicos se considera que en relación a otros equipamientos críticos o de programas públicos, son de relevancia media ante una situación de catástrofe, por lo que se les asigna a todos los tipos de equipamiento, un valor de vulnerabilidad 2.

EQUIPAMIENTO ECONÓMICO PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN TIPO	
Tipo	valor
banco	2
supermercado	2
bomba bencina	2
economía otro	2

Tabla 54. Puntajes de vulnerabilidad en equipamiento económico.

Fuente: elaboración propia.

4. OTROS EQUIPAMIENTOS

EQUIPAMIENTO DEPORTIVO

Se le asigna un puntaje de vulnerabilidad según categoría, considerando por un lado los posibles usos temporales y de emergencia que permite el equipamiento deportivo, y por otro lado el nivel de inversión, muchas veces pública, que involucran.

EQUIPAMIENTO DEPORTIVO PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN CATEGORÍA	
Categoría	valor
Deporte-estadio	4
Deporte-Gimnasio	3
Deporte-Cancha	2

Tabla 55. Puntajes de vulnerabilidad en equipamiento deportivo.

Fuente: elaboración propia.

OTROS EQUIPAMIENTOS

A los equipamientos de otro tipo, se les asigna un puntaje de vulnerabilidad media (2), bajo el supuesto de que ante un evento de catástrofe, son de relevancia media.

OTROS EQUIPAMIENTOS PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN TIPO	
Tipo	valor
Gobierno otro	2
Junta de vecinos	2
Iglesia	2
Equipamiento otro	2
Jardín infantil	2
otros	2

Tabla 56. Puntajes de vulnerabilidad en otros equipamientos.

Fuente: elaboración propia.

2.3.1.7 Infraestructura

Dentro de la categoría de Infraestructura, se evaluó Red Vial, Puentes, Alumbrado eléctrico, Telecomunicaciones y Agua potable. Sólo en el caso de red vial se cuenta con información respecto a materialidad, por lo que se evalúa su vulnerabilidad física y funcional. En las otras categorías de infraestructura, la evaluación se realiza sólo respecto a la vulnerabilidad funcional.

VIALIDAD

La vulnerabilidad de la red vial es analizada tanto en la dimensión física como funcional. La vulnerabilidad física es evaluada en base a la carpeta como única variable, dada la información con la que se cuenta. La vulnerabilidad funcional se evalúa según el tipo de calle, lo que se considera como representativo de la jerarquía.

$$V_{Am} = [V_{fAm} * 0,3 + V_c * 0,7]$$

Donde V_{Am} es la vulnerabilidad final de la vía ante determinada amenaza, valor que queda representado en los mapas de vulnerabilidad que se desarrollan (específicamente ante tsunami y remoción en masa), y utilizado para el posterior análisis de riesgo. V_{fAm} es la vulnerabilidad física ante determinada amenaza, y V_c es vulnerabilidad funcional.

Esta ponderación representa el supuesto de que específicamente para el caso de vialidad, resulta altamente relevante la jerarquía, dado que en funciona como una red, como un sistema integrado. Por esto pesa más que la materialidad, con un 70% de la ponderación para vulnerabilidad funcional, versus un 30% de vulnerabilidad física.

A continuación se presentan los puntajes asignados para el cálculo de vulnerabilidad física a la red vial ante las amenazas de tsunami e inundación fluvial, y los supuestos que sustentan dichos puntajes (Tabla 57, Tabla 58, Tabla 59 y Tabla 60). En los casos que no se cuenta con la información respecto a carpeta, la vulnerabilidad física no incide en la final, y sólo se considera la funcional.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD EN VIALIDAD ANTE AMENAZA DE TSUNAMI	
Carpeta	valor
ASFALTO	1
RIPIO	2
TIERRA MEJORADA	3
TIERRA	4

Tabla 57. Puntaje de vulnerabilidad en vialidad ante amenaza de tsunami.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIALIDAD ANTE AMENAZA DE TSUNAMI	
Variable	Supuesto
Carpeta	A mayor impermeabilidad, menor vulnerabilidad
	A mayor resistencia a la erosión, menor vulnerabilidad

Tabla 58. Supuestos en el análisis de vulnerabilidad de vialidad ante amenaza de tsunami.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD EN VIALIDAD ANTE AMENAZA DE INUNDACIÓN FLUVIAL	
Carpeta	valor
ASFALTO	1
RIPIO	2
TIERRA MEJORADA	3
TIERRA	4

Tabla 59. Puntaje de vulnerabilidad en vialidad ante amenaza de inundación fluvial.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIALIDAD ANTE AMENAZA DE INUNDACIÓN FLUVIAL	
Variable	Supuesto
Carpeta	A mayor impermeabilidad, menor vulnerabilidad
	A mayor resistencia a la erosión, menor vulnerabilidad

Tabla 60. Supuestos en el análisis de vulnerabilidad de vialidad ante amenaza de inundación fluvial.

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la amplitud sísmica, dado que sólo con la información de la carpeta no es posible determinar diferentes grados de vulnerabilidad, se consideran todos los casos como el escenario más desfavorable, asignándole el máximo valor de vulnerabilidad (Tabla 61 y Tabla 62). A diferencia de tsunami e inundación fluvial, cuando no se cuenta con información sobre carpeta, se asigna de todas maneras valor 4.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD FÍSICA EN VIALIDAD ANTE AMENAZA DE AMPLITUD SÍSMICA	
Carpeta	valor
ASFALTO	4
RIPIO	4
TIERRA MEJORADA	4
TIERRA	4
SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 61. Puntaje de vulnerabilidad en vialidad ante amenaza de amplitud sísmica.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIALIDAD ANTE AMENAZA DE AMPLITUD SÍSMICA	
Variable	Supuesto
Carpeta	Según exclusivamente la materialidad de carpeta, no es posible diferenciar grados de vulnerabilidad.

Tabla 62. Supuestos en el análisis de vulnerabilidad de vialidad ante amenaza de amplitud sísmica.

Fuente: elaboración propia.

En los casos de Remoción en Masa y Licuefacción, se considera que todos los tipos de carpeta son altamente vulnerables a la amenaza. Así como en amplitud sísmica, cuando no se cuenta con información sobre carpeta, se asigna de todas maneras valor 4.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD FÍSICA EN VIALIDAD ANTE AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA POR SISMO	
Carpeta	valor
ASFALTO	4
RIPIO	4
TIERRA MEJORADA	4
TIERRA	4
SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 63. Puntaje de vulnerabilidad en vialidad ante amenaza de remoción en masa por sismo.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIALIDAD ANTE AMENAZA DE REMOCIÓN EN MASA POR SISMO	
Variable	Supuesto
Carpeta	Dadas las características de la amenaza, todos los tipos de carpeta se consideran altamente vulnerables.

Tabla 64. Análisis de vulnerabilidad de vialidad ante amenaza de remoción en masa por sismo.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y PUNTAJE DE VULNERABILIDAD FÍSICA EN VIALIDAD ANTE AMENAZA DE LICUEFACCIÓN	
Carpeta	valor
ASFALTO	4
RIPIO	4
TIERRA MEJORADA	4
TIERRA	4
SIN INFORMACIÓN	4

Tabla 65. Puntaje de vulnerabilidad en vialidad ante amenaza de licuefacción.

Fuente: elaboración propia.

VARIABLES Y SUPUESTOS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE VIALIDAD ANTE AMENAZA DE LICUEFACCIÓN	
Variable	Supuesto
Carpeta	Dadas las características de la amenaza, todos los tipos de carpeta se consideran altamente vulnerables.

Tabla 66. Supuestos en el análisis de vulnerabilidad de vialidad ante amenaza de licuefacción.

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la vulnerabilidad funcional, la red vial se analiza según el tipo de vía, información obtenida de los PRC, considerando que las calles cumplen un rol considerablemente más jerárquico en la red vial que las huellas y los senderos. Se utiliza el supuesto de que como entre calle pavimentada y calle no-pavimentada la diferencia es sólo de materialidad, no es posible inferir una diferencia funcional entre ambas, considerando que en aquellas localidades más pequeñas la calle principal es de tipo no-pavimentada. Es por esto que se les asigna el mismo valor de alta vulnerabilidad. Para huellas y senderos, se asigna un valor de vulnerabilidad funcional bajo, ya que en general no integran la vialidad en cuanto red, sino que se presentan en trazados aparentemente informales, con remates sin salida. Es importante recordar que la vulnerabilidad funcional no diferencia entre amenazas, por lo que se asigna sólo un valor.

RED VIAL PUNTAJE DE VULNERABILIDAD FUNCIONAL SEGÚN TIPO	
Tipo de vía	valor
calle pavimentada	4
calle no pavimentada	4
huella	1
sendero	1

Tabla 67. Puntaje de vulnerabilidad funcional a red vial.

Fuente: elaboración propia.

Estos puntajes son incorporados en formato SIG, en la tabla de atributos del shape vialidad. Como ejemplo se muestra un fragmento de la tabla de atributos de red vial en el caso de Pichilemu en Tabla 68. Cada fila corresponde a un arco de vía. Para el cálculo de vulnerabilidad física, en el campo TIPO_CAR está el tipo de carpeta, que asigna un puntaje para cada amenaza en los campos VUI_C_TS (tsunami), VUL_C_IF (inundación fluvial), VUL_C_RM (remoción en masa) y VUL_C_AS (amplitud sísmica). Para el cálculo de vulnerabilidad funcional, en el campo CAMINO está el tipo de calle, y según estas variables se asigna un puntaje en el campo VUL_JER (vulnerabilidad jerárquica).

ID	TIPO_CAR	CAMINO	VUL_JER	VUL_C_TS	VUL_C_IF	VUL_C_LI	VUL_C_RM	VUL_C_AS	VUL_TS	VUL_IF	VUL_LI	VUL_RM	VUL_AS
699	DE TIERRA	HUELLA - SENDERO	1	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2
700	ASFALTO O PAVIMENTO	CALLE PAVIMENTADA	4	1	1	4	4	4	3	3	4	4	4
701	ASFALTO O PAVIMENTO	CALLE PAVIMENTADA	4	1	1	4	4	4	3	3	4	4	4
702	DE TIERRA	CALLE NO PAVIMENTADA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
703	ASFALTO O PAVIMENTO	CALLE PAVIMENTADA	4	1	1	4	4	4	3	3	4	4	4
704	ASFALTO O PAVIMENTO	CALLE PAVIMENTADA	4	1	1	4	4	4	3	3	4	4	4
705	DE TIERRA	CALLE NO PAVIMENTADA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabla 68. Fragmento de tabla de atributos de red vial.

Fuente: elaboración propia.

Para la vulnerabilidad final, se pondera según la ecuación expuesta, la vulnerabilidad funcional con la física ante cada amenaza, resultando:

$$VUL_{TS} = [VUL_{JER} * 0,7 + VUL_{C_TS} * 0,3]$$

Donde VUL_TS es vulnerabilidad final ante tsunami, VUL_JER es vulnerabilidad funcional y VUL_C_TS es vulnerabilidad física ante tsunami. Y replicando la misma ecuación para todas las otras amenazas, en los campos VUL_IF, VUL_LI, VUL_RM, VUL_AS. Estos puntajes de vulnerabilidad final ante cada amenaza, quedan representados en los mapas de vulnerabilidad que se desarrollan (específicamente ante tsunami y remoción en masa), y posteriormente son utilizados para el cálculo y mapas de riesgos.

PUENTES

En el caso de los puentes, se desarrolla sólo análisis de vulnerabilidad funcional. Para esto, se les asigna el valor según el tipo de vía donde el puente está localizado. No se realiza análisis de vulnerabilidad física dado que no se cuenta con información representativa de estructura o de cualidades que determinen la resistencia a cada amenaza.

PUENTES PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN TIPO DE VÍA	
Tipo de vía	valor
calle pavimentada	4
calle no pavimentada	4
huella	1
sendero	1

Tabla 69. Puntaje de vulnerabilidad en puentes según tipo de vía.

Fuente: elaboración propia.

ALUMBRADO

En el caso de la infraestructura de alumbrado, se desarrolla sólo análisis de vulnerabilidad funcional, dado que no se cuenta con información que permita un análisis en la dimensión física. Se asigna el grado de vulnerabilidad según la categoría del elemento y su importancia en la red total de alumbrado.

ALUMBRADO PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN CATEGORÍA	
Categoría	valor
Subestación	4
Transformador	2
Poste	1

Tabla 70. Puntaje de vulnerabilidad en alumbrado según categoría

Fuente: elaboración propia.

TELECOMUNICACIONES

En el caso de la infraestructura de telecomunicaciones, se desarrolla sólo análisis de vulnerabilidad funcional, dado que no se cuenta con información que permita un análisis en la dimensión física. Para esto, se considera el rol que cumple el elemento respecto a la comunicación en planes de emergencia y catástrofes naturales. Se utiliza el supuesto de que la radio es el medio de información más masivo, por lo que se le asigna un valor de vulnerabilidad alto. El sistema de celulares, por su parte, también se considera como relevante en la respuesta ante emergencias, a continuación que el de radio, dado las posibilidades que presenta en cuanto entrega de información y comunicación.

TELECOMUNICACIONES PUNTAJE DE VULNERABILIDAD SEGÚN TIPO DE ANTENA	
Tipo de antena	valor
Antena de Radio	4
Antena de Celular	3
Antena de Televisión	2

Tabla 71. Puntaje de vulnerabilidad en infraestructura de telecomunicaciones según tipo de antena

Fuente: elaboración propia.

2.3.2 PRODUCTOS ENTREGADOS

El análisis de vulnerabilidad finalmente se traduce en mapas de vulnerabilidad según amenaza. Para el caso del presente estudio, se desarrollan los mapas de vulnerabilidad ante tsunami y ante remoción en masa. Sin embargo, el valor de vulnerabilidad de cada elemento, está como información incorporada en las tablas de atributos de los diferentes shapes, en formato SIG. Como

ejemplo, se presentan los mapas de vulnerabilidad de la localidad de Cahuil, Figura 34 y Figura 35. En los mapas se presenta cada elemento analizado, con el color correspondiente al valor de vulnerabilidad calculado en el análisis. Cada mapa se acompaña además de una tabla de detalle, donde se identifica cada elemento de Infraestructura y de Equipamiento, con un número (ID) que lo identifica en el mapa, y el grado de vulnerabilidad.

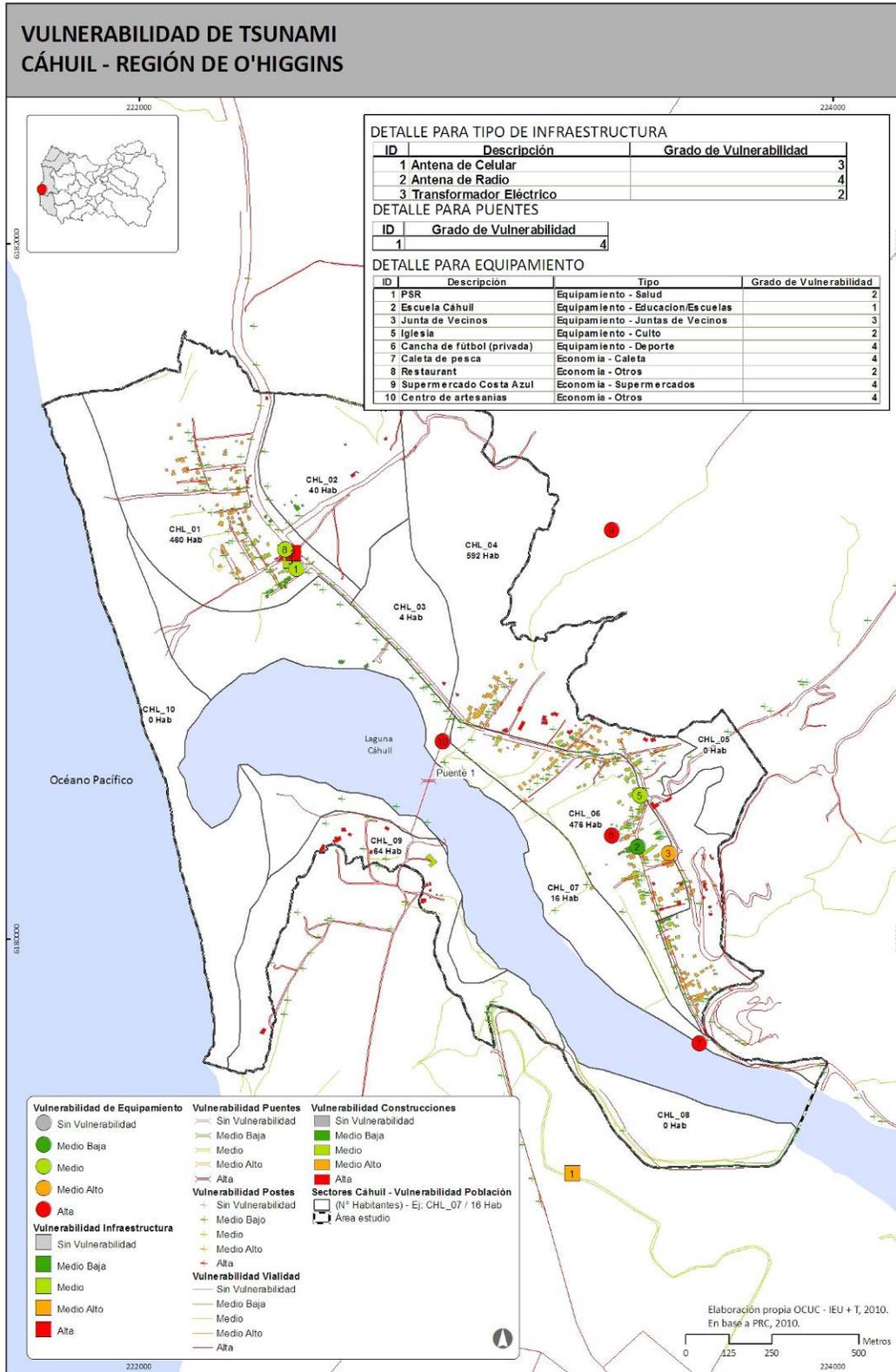


Figura 34. Mapa de vulnerabilidad ante tsunami, localidad de Cáhuil.

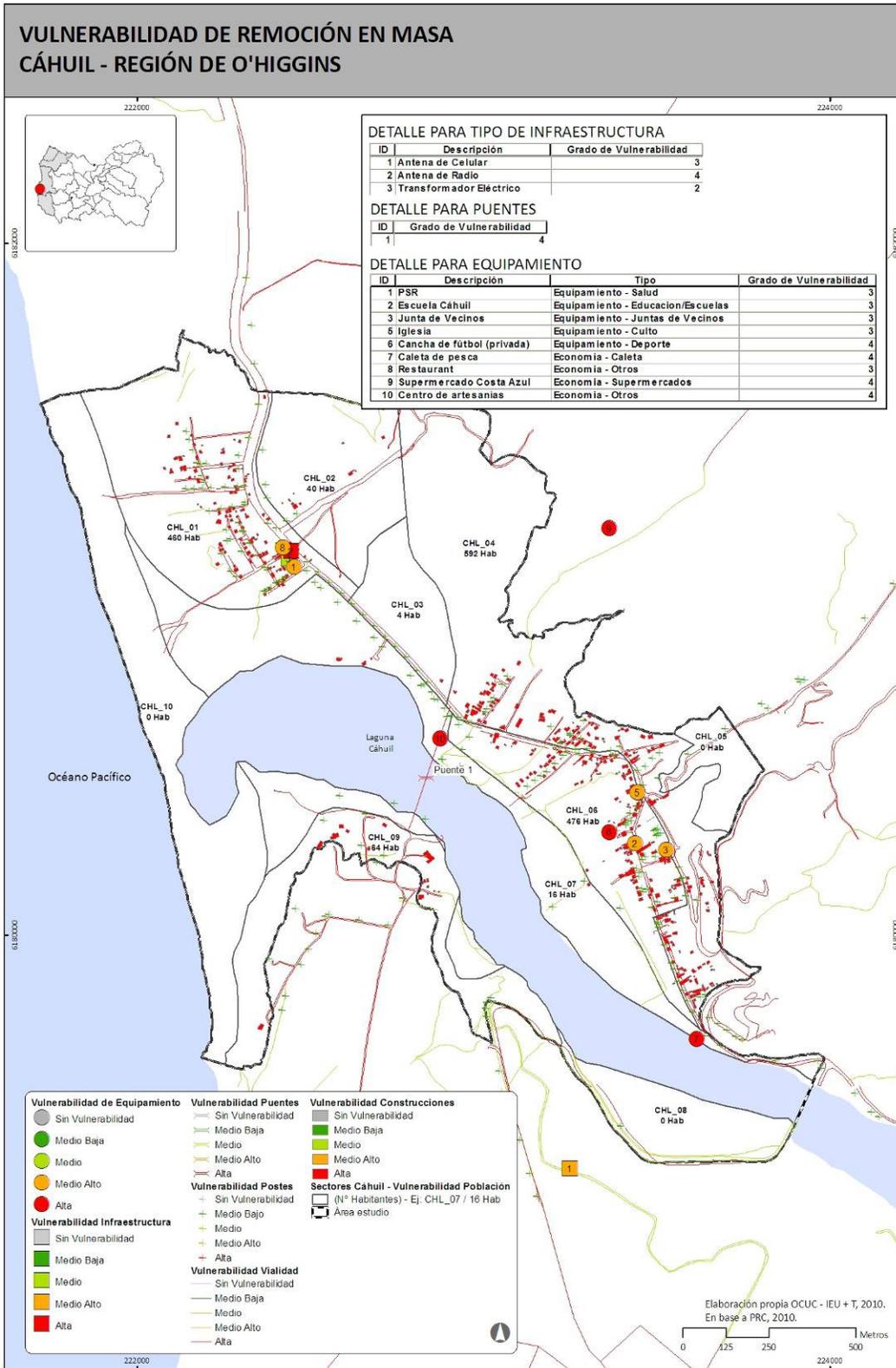


Figura 35. Mapa de vulnerabilidad ante remoción en masa, localidad de Cáhuil.

2.3.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

2.3.3.1 Población

Se presentan a continuación los resultados del análisis de vulnerabilidad de la población para cada localidad en estudio. La Tabla 72 presenta los resultados obtenidos de las localidades de la región de O'Higgins. Esta misma información se presenta en los dossier por localidad en conjunto con el plano correspondiente.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	La Población en esta localidad se concentra en la zona más central, uno de los sectores presenta 352 habitantes siendo este el de mayor cantidad de viviendas y por ello de habitantes.
	La Boca	Dentro de la localidad el sector que presenta la mayor cantidad de población es el BCA_07 con 1.760 habitantes, siendo esta en donde se concentra mayor población.
	Matanzas	La mayor concentración de población en la localidad de Matanzas se encuentra dentro del sector MTZ_03 con 188 habitantes, seguido del sector MTZ_02 con 172 habitantes.
	Chorrillos	El sector CHR_02 es el que presenta la única concentración de población dentro de la localidad con 92 habitantes.
	Puertecillo	La población en esta localidad se concentran en dos sectores: PTC_03 con 312 habitantes y PTC_02 con 20 habitantes.
	Las Brisas	Dentro de la localidad los sectores que presentan la mayor cantidad de población son los siguientes: BRS_02 con 240 habitantes y BRS_05 con 112 habitantes.
	La Vega de Pupuya	En La Vega de Pupuya los sectores que concentran la mayor cantidad de población son los siguientes: VPY_06 con 584 Hab., VPY_05 con 568 Hab, VPY_07 con 324 Hab y VPY_08 con 208 habitantes.
	Topocalma	La localidad de topocalcama está dividida en dos sectores: TPL_02 con 20 habitantes y TPL_01 con 4 habitantes.
	Pichilemu	En la localidad de Pichilemu presenta un total de población estimada de 20.740 habitantes. Las mayores concentraciones de población se encuentran en los sectores: PIC_21, PIC_20, PIC_11 y PIC_22 con 4.122, 3.348, 2.828 y 2.176 habitantes respectivamente.
	Cáhuil	La población de Cáhuil se concentra en dos sectores: CHL_06 y CHL_01 con 476 y 460 habitantes respectivamente
Bucalemu	La población de la localidad de Bucalemu se concentra en dos sectores principalmente: BCM_09 con 736 habitantes y BCM_11 con 672 habitantes.	

Tabla 72 Resultados del análisis de vulnerabilidad de población, localidades Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 73 muestra los resultados para la vulnerabilidad población de las localidades en estudio de la región del Maule.

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	La población de esta localidad se concentra principalmente en dos sectores: BYR_03 y BYR_04 con 92 y 52 habitantes respectivamente.
	Llico	La localidad de Llico presenta un total de 2.292 habitantes, estas se concentran en cuatro sectores: LLC_14 con 348 habitantes, LLC_11 con 340 habitantes, LLC_02 y LLC_04 con 300 habitantes cada uno.
	Lipimávida	La localidad de Lipimávida presenta un población estimada de 1.112 habitantes. Los sectores más poblados son: LPM_02, LPM_08, LPM_11 y LPM_07 con 240, 220, 180 y 152 habitantes respectivamente.
	lloca	La población de lloca se concentra en cuatro sectores, siendo el ILC_03 con el de mayor población con 1060 habitantes, seguido de ILC_06 con 772 habitantes y ILC_08 con 500 habitantes.
	La Pesca	La población de La Pesca se concentra en tres sectores principalmente, siendo estos: PSC_06 con 800 habitantes, PCS_03 con 292 habitantes y PSC_05 con 116 habitantes.
	Duao	La población estimada de Duao alcanza a 2.164 habitantes y se concentra principalmente en tres sectores: DAO_14 con 700 habitantes, DAO_03 con 368 habitantes y DAO_15 con 316 habitantes.
	La Trinchera	La población de la Trinchera se encuentra concentrada en dos sectores: TCH_02 y TCH_03 con 24 y 16 habitantes respectivamente.
	Constitución	La ciudad de Constitución presenta una población estimada de 34.115 habitantes, concentrada principalmente en cinco sectores que contienen sobre el 50% de población. Dentro de estos cinco sectores se destacan los dos con mayor habitantes CNT_15 con 7.180 habitantes y CNT_20 con 4.205 habitantes.
	Las Cañas	La población de las cañas se concentra en dos sectores CNS_01 con 368 habitantes y CNS_04 con 336 habitantes.
	Pellines	En esta localidad la población se concentra en el sector PLN_03 con 456 habitantes lo que equivale al 52% de población de toda la localidad.
	Papirúa	La población estimada de Papirúa alcanza a 4.192 habitantes. Y sólo dos sectores concentran más del 50% de la población: PPR_09 y PPR_06 con 1.444 y 1.172 habitantes respectivamente.
	Loanco	La población de Loanco se concentra en el sector LNC_04 con 140 habitantes.
	Pelluhue	La población de Pelluhue estimada es 9.664 habitantes, las cual se concentra en dos sectores PLH_22 y PLH_15 con 976 habitantes y PLH_15 948 habitantes.
	Curanipe	La población estimada de Curanipe alcanza a 2.996 habitantes, los cuales se concentran en cinco sectores: CRP_13, CRP_10, CRP_20, CRP_26 y CRP_21 con 576, 328, 316, 268 y 212 habitantes respectivamente.
Cardonal	La población de Cardonal se concentra en dos sectores: CRD_02 con 576 habitantes y CRD_03 252 habitantes.	

Tabla 73 Resultados del análisis de vulnerabilidad de población, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

2.3.3.2 Vivienda

La Tabla 74 presenta los resultados del análisis realizado de la vulnerabilidad de construcciones de las localidades de la región de O'Higgins. Esta misma información se presenta en los dossier por localidad en conjunto con el plano correspondiente.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	Con respecto a la vivienda predominan las edificaciones con vulnerabilidad Alta, ya que es vulnerabilidad por remoción en Masa. Se aprecia en el plano que localidad presenta una alta vulnerabilidad en sus construcciones.
	La Boca	La vulnerabilidad de la vivienda en la localidad de La Boca de Rapel, para el caso del análisis de tsunami, muestra que las construcciones que se encuentran en el eje principal de presentan vulnerabilidad media y media-alta, el resto de construcciones presentan una alta vulnerabilidad. Para el caso de las construcciones expuestas a la remoción en masa presentan una alta vulnerabilidad.
	Matanzas	Las construcciones dentro del sector MTZ_02, 09, 10 y parte del 03 presentan en su mayoría un nivel de vulnerabilidad de grado medio-alto (conglomerado de construcciones que se encuentran dentro de estos sectores), un conglomerado de viviendas en MTZ_12, 06 y 05 presentan vulnerabilidad frente a tsunami de valor alto. Las viviendas dentro del análisis de vulnerabilidad de remoción en masa presentan valor alto.
	Chorrillos	Las construcciones presentan un grado de vulnerabilidad de tsunami y de remoción en masa alto.
	Puertecillo	En esta localidad todas las construcciones presentan grado de vulnerabilidad de nivel alto (tanto de tsunami como de remoción en masa).
	Las Brisas	Todas las construcciones presentes en la localidad de Las Brisas presentan un grado de vulnerabilidad de nivel medio-alto de tsunami y para vulnerabilidad de remoción en masa las construcciones muestran una vulnerabilidad alta.
	La Vega de Pupuya	En esta localidad la totalidad de las construcciones presentan una vulnerabilidad alta y sólo en el sector VPY_17 presenta vulnerabilidad de tsunami media-alta. Con respecto a la vulnerabilidad de remoción en masa las construcciones presentan vulnerabilidad alta.
	Topocalma	Las construcciones presentes en la localidad de Topocalma tienen una vulnerabilidad alta tanto para tsunami como para remoción en masa.
	Pichilemu	Las construcciones de la ciudad de Pichilemu presentan en su gran mayoría un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alto. Se observan algunas construcciones en los sectores PIC_38, PIC_39, PIC_25, PIC_21, PIC_26, PIC_07, PIC_11, PIC_08 y PIC_42 con un grado de vulnerabilidad alto. Las construcciones en vulnerabilidad de remoción en masa muestran una vulnerabilidad alta.
	Cáhuil	En esta localidad predominan las construcciones con un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alto y medio. En los sectores CHL_04, CHL_06 y CHL_01 se observan construcciones con grado vulnerable alto. Las construcciones dentro de la vulnerabilidad de remoción en masa son de alta vulnerabilidad.
Bucalemu	En esta localidad las construcciones de los sectores BCM_08, BCM_07 y BCM_11 presentan vulnerabilidad de tsunami alto, en el sector BCM_09 se concentra viviendas con vulnerabilidad media-alta. El resto de construcciones predomina la vulnerabilidad media. Con respecto a la vulnerabilidad de remoción en masa las construcciones presentan un nivel alto.	

Tabla 74 Resultados del análisis de vulnerabilidad de construcciones, localidades Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 75 muestra los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad de las construcciones de las localidades en estudio de la región del Maule.

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	Las construcciones se presentan alta vulnerabilidad tanto para tsunamis como remoción en masa.
	Llico	En esta localidad se observan construcciones con vulnerabilidad de tsunami medio principalmente, sólo en el sector LLC_01 y 02 hay presencia de viviendas con riesgo medio. Todas las construcciones presentan vulnerabilidad alta de remoción en masa.
	Lipimávida	En esta localidad se observan construcciones principalmente con vulnerabilidad de tsunami media-alta y media distribuidas en toda la zona. También hay presencia de vulnerabilidad alta. En esta localidad 75% de las viviendas fueron destruidas por el tsunami. Las construcciones presentan vulnerabilidad por remoción en masa alta.
	Iloca	Se observa que hay construcciones distribuidas en toda la zona con vulnerabilidad de tsunami media principalmente. También se concentran viviendas en un grado medio-alto de vulnerabilidad en el sector ILC_03. Las construcciones evaluadas en la vulnerabilidad de remoción en masa presentan una alta vulnerabilidad.
	La Pesca	La gran mayoría de las construcciones de esta localidad se presentan con vulnerabilidad de tsunami media. Se presentan algunas construcciones en grado bajo y alto de vulnerabilidad de tsunami. Para el caso de la remoción en masa todas las construcciones presentan alta vulnerabilidad.
	Duao	Las construcciones que predominan en esta localidad se presentan con vulnerabilidad de tsunami media. Todas las construcciones presentan una alta vulnerabilidad de remoción en masa.
	La Trinchera	Construcciones se presentan con alta vulnerabilidad tanto para tsunamis como remoción en masa.
	Constitución	Dentro de la ciudad las construcciones presentan principalmente un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alto. Se observan algunas agrupaciones de viviendas de grado medio. Las construcciones en remoción en masa presentan una vulnerabilidad alta.
	Las Cañas	La totalidad de las construcciones de esta localidad presentan un grado de vulnerabilidad medio-alto para tsunamis y alto para vulnerabilidad de remoción en masa.
	Pellines	En esta localidad predominan las construcciones de grado de vulnerabilidad medio-alta para tsunamis, y para remoción en masa vulnerabilidad alta.
	Papirúa	La localidad de Papirúa presenta construcciones de vulnerable de tsunami medio-alto y alto en vulnerabilidad de remoción en masa.
	Loanco	Las construcciones de esta localidad en su mayoría presentan un nivel medio-alto de vulnerabilidad de tsunami, cuatro viviendas con vulnerabilidad alta y cuatro con baja. Las construcciones presentan una vulnerabilidad alta para remoción en masa.
	Pelluhue	En la localidad de Pelluhue predominan construcciones con vulnerabilidad alta concentrándose al centro de la localidad. Con la vulnerabilidad de remoción en masa las construcciones muestran un nivel vulnerable alto.
Curanipe	Las construcciones se presentan vulnerabilidad de tsunami y remoción en masa alta.	
Cardonal	Las construcciones se presentan vulnerabilidad alta para tsunamis y remoción en masa.	

Tabla 75 Resultados del análisis de vulnerabilidad de construcciones, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

2.3.3.3 Equipamiento

Los resultados que se muestran a continuación se presentan en tres categorías: equipamiento crítico, equipamiento económico y otro equipamiento. La Tabla 76 muestra el resultado de la vulnerabilidad del equipamiento crítico de las localidades de la región de O'Higgins.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	La Vulnerabilidad de los equipamientos críticos muestra que todos ellos son vulnerables frente a la amenaza de remoción en masa (alta vulnerabilidad)
	La Boca	En esta localidad se presentan tres equipamientos críticos: centro de atención de salud, la escuela Boca de Rapel y retén móvil de carabineros, ellos presentan un nivel de vulnerabilidad de medio, medio-alto (para los dos últimos) respectivamente. Para el caso de la exposición por remoción en masa estos equipamientos presentan la siguiente valorización, centro de salud: medio alto, escuela y reten móvil: alto.
	Matanzas	En la localidad el colegio muestra una vulnerabilidad por tsunami alto, y vulnerabilidad de remoción en masa un valor medio alto.
	Chorrillos	No hay presencia de equipamiento crítico
	Puertecillo	Dentro de esta localidad sólo se presentan un equipamiento crítico, Escuela Puertecillo, el cual presentan vulnerabilidad medio-alta de tsunami y alta para remoción en masa.
	Las Brisas	La localidad no presenta equipamiento crítico
	La Vega de Pupuya	La localidad de La Vega de Pupuya presenta en la estación médica rural vulnerabilidad de tsunami medio-alto, y en remoción en masa alto.
	Topocalma	Esta localidad no presenta equipamiento
	Pichilemu	En base a las modelaciones realizadas, esta localidad cuenta con 10 establecimientos educacionales de los cuales 5 de ellos presentan una vulnerabilidad de tsunami medio-alto, 2 altos y 3 medio, en vulnerabilidad de remoción en masa todos los establecimientos de educación muestran vulnerabilidad alto. El establecimiento de salud (hospital) presenta de vulnerabilidad de tsunami y remoción en masa alto. Bomberos, capitanía de puerto, centro de personal de la armada, carabineros y municipalidad presentan una vulnerabilidad de tsunami medio, alto, medio, medio-alto y medio alto respectivamente, para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa los mismos equipamientos nombrados anteriormente presentan la siguiente vulnerabilidad: medio-alto, alto y medio-alto para las tres últimas respectivamente.
	Cáhuil	En esta localidad hay presencia de dos equipamientos críticos la Posta de Salud Rural y la Escuela, estas presentan las siguientes vulnerabilidades de tsunami: medio y bajo respectivamente. En vulnerabilidad de remoción en masa ambos equipamientos presentan vulnerabilidad medio-alto.
Bucalemu	En Bucalemu hay presencia de tres equipamientos críticos: Posta de salud, escuela y bomberos, con vulnerabilidad de tsunami alta, y media respectivamente. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa la posta con alta, y los dos últimos con media-alta.	

Tabla 76 Resultados del análisis de vulnerabilidad de equipamiento crítico, localidades Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 77 muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad de los equipamientos críticos de las localidades en estudio de la región del Maule.

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	En esta localidad la escuela presentan un vulnerabilidad de tsunami medio-alto y de remoción en masa alto y la Posta de salud presenta vulnerabilidad alta para ambos casos.
	Llico	Los equipamientos críticos presente en esta localidad presentan vulnerabilidad de tsunami medio-alto (bomberos, oficina municipal y retén de carabineros) la posta presentan vulnerabilidad medio, el liceo presenta una vulnerabilidad de tsunami medio-alta. Para el caso de vulnerabilidad de remoción en masa los equipamientos críticos presentan en su mayoría vulnerabilidad media-alta.
	Lipimávida	Se presentan dos equipamientos críticos la posta y la escuela presentan vulnerabilidad de tsunami medio-alto. Y para vulnerabilidad de remoción en masa presentan un nivel alto.
	Iloca	En Iloca se presentan seis equipamientos críticos: Posta de salud, Bomberos, Oficina municipal y retén de carabineros, estos presentan vulnerabilidad de tsunami media, y de remoción en masa media-alta.
	La Pesca	En La Pesca se presenta dos equipamientos críticos, la escuela con vulnerabilidad de tsunami media y media-alta para remoción en masa, la posta de salud con vulnerabilidad de tsunami media y de remoción en masa media-alta.
	Duao	Se presentan dos equipamientos críticos la posta con nivel de vulnerabilidad de tsunami medio y la escuela con vulnerabilidad baja de tsunami. Para el caso de remoción en masa ambos equipamientos muestran vulnerabilidad media-alta.
	La Trinchera	Sin equipamiento crítico

Reg.	Localidades	Comentarios
	Constitución	Se presentan dos equipamientos de salud con vulnerabilidad alta y medio-alta tanto para tsunami y remoción en masa. Se presentan 13 establecimientos de educación de los cuales 11 se encuentran en el nivel medio-alto de vulnerabilidad de tsunami, uno en el medio y uno en alta. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa 12 establecimientos en vulnerabilidad alta y uno en media-alta. Carabineros presenta una vulnerabilidad de tsunami media-alta y para remoción en masa alta, la municipalidad tienen una vulnerabilidad de tsunami y remoción en masa alta, la capitania de puerto presenta para remoción en masa alta vulnerabilidad y para tsunami media-alta y finalmente bomberos presenta una vulnerabilidad de tsunami nivel medio-alto y de remoción en masa alto.
	Las Cañas	Sin equipamiento crítico
	Pellines	La posta de salud presente en esta localidad tiene una vulnerabilidad media-alta para tsunami y alta para remoción en masa, y la escuela una vulnerabilidad medio-alto de tsunami y de remoción en masa.
	Papirúa	Sin equipamiento crítico
	Loanco	Sin equipamiento crítico
	Pelluhue	Dentro del equipamiento crítico de esta localidad la posta presenta una vulnerabilidad alta, los dos establecimientos de educación muestran alta y media-alta de vulnerabilidad, carabineros presenta una vulnerabilidad media-alta y bomberos una vulnerabilidad alta, todos los niveles de vulnerabilidad nombrados anteriormente se refieren a vulnerabilidad de tsunami. Con respecto a la vulnerabilidad de remoción en masa todos los equipamientos de este ítem presentan vulnerabilidad alta.
	Curanipe	La localidad de Curanipe presenta un equipamiento de educación el cual está clasificado en grado de alta vulnerabilidad de tsunami como también para remoción en masa. El centro de salud con media-alta para tsunami, el consultorio provisional alta y carabineros y bomberos presentan una vulnerabilidad alta. Para el caso de remoción en masa todos los equipamientos críticos presentan alta vulnerabilidad.
	Cardonal	Sin equipamiento crítico

Tabla 77 Resultados del análisis de vulnerabilidad de equipamiento crítico, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 78 muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad de equipamiento económico para las localidades de la región de O'Higgins.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	Dentro de la localidad se destacan dos elementos de comercio: Supermercado La Foresta y Bomba de bencina Terpel, cada una de ellas presenta vulnerabilidad media-alta y alta respectivamente.
	La Boca	La caleta de pescadores presenta un nivel de vulnerabilidad alto y los dos supermercados una vulnerabilidad medio-alto, tanto para la exposición de tsunami como exposición de remoción en masa.
	Matanzas	En la localidad de Matanzas se presentan tres equipamientos económicos: Caleta de pescadores, Camping, Supermercado Costa Azul y Hotel Surazo. Todos ellos presentan un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alto. Vulnerabilidad de remoción en masa estos equipamientos presentan un valor alto para la caleta y camping; y valor medio-alto para el supermercado y el hotel.
	Chorrillos	No hay presencia de equipamiento
	Puertecillo	En esta localidad se presenta un equipamiento económico con un nivel de vulnerabilidad alto para tsunami como de remoción en masa.
	Las Brisas	La localidad no presenta equipamiento económico
	La Vega de Pupuya	Los dos equipamientos económicos presentes en esta localidad tienen una vulnerabilidad de tsunami medio-alto y vulnerabilidad de remoción en masa alto.
	Topocalma	Esta localidad no presenta equipamiento
	Pichilemu	En base a las modelaciones realizadas, esta localidad cuenta con 3 supermercados, 2 bancos, 2 bombas de bencina, un aeródromo, un terminal de buses y la caleta de pescadores, los cuales presentan las siguientes vulnerabilidades de tsunami y remoción en masa: vulnerabilidad de tsunami media, media, media, alta, media-alta y media alta respectivamente; vulnerabilidad de remoción en masa los 1 banco, los supermercados, las bombas de bencina y la caleta presentan una vulnerabilidad media-alta, un banco, el aeródromo y terminal de buses presentan una vulnerabilidad alta.
	Cáhuil	Los equipamientos de carácter económico de la localidad de Cáhuil presentan una vulnerabilidad de tsunami alta. (caleta de pescadores, supermercado y centro de artesanía) y el Restaurant vulnerabilidad media. Con la vulnerabilidad de remoción en masa la caleta de pescadores, supermercado y centro de artesanía presenta vulnerabilidad alta y el restaurant media-alta.
Bucalemu	Los equipamientos de la localidad de Búcalemo de carácter económico presentan una vulnerabilidad de tsunami media y la caleta media-alta. La vulnerabilidad de remoción en masa para los tres equipamientos es media-alta.	

Tabla 78 Resultados del análisis de vulnerabilidad de equipamiento económico, localidades Región de O'Higgins

La Tabla 79 muestra el resultado del análisis de vulnerabilidad de los equipamientos económicos de las localidades de la región del Maule, estos resultados se encontraran en el dossier de cada localidad con su respectivo plano.

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	En esta localidad sólo esta como equipamiento económico la caleta de pescadores la cual vulnerabilidad de tsunami y de remoción en masa alto.
	Llico	Los equipamientos económicos de la localidad de Llico presentan vulnerabilidad de tsunami medio para los supermercados y medio-alto para la caleta de pescadores y bomba de bencina. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa la mayoría de los equipamientos económicos de presentan vulnerabilidad media-alta, sólo la bomba de bencina presenta vulnerabilidad alta.
	Lipimávida	El único equipamiento económico de esta localidad, minimarket, presenta un grado de vulnerabilidad de tsunami medio y para remoción en masa medio-alto.
	Iloca	En Iloca hay dos supermercado los cuales presentan una vulnerabilidad de tsunami media y en vulnerabilidad de remoción en masa presenta un nivel medio-alto de vulnerabilidad.
	La Pesca	Esta localidad no presenta equipamiento económico
	Duao	En Duao hay 4 equipamientos económicos los cuales tres de ellos presentan una vulnerabilidad media y la caleta de pescadores media-alta de vulnerabilidad de tsunami. En remoción en masa todos estos equipamientos tienen vulnerabilidad media-alta.
	La Trinchera	Sin equipamiento económico

Reg.	Localidades	Comentarios
	Constitución	Los equipamientos de carácter económico de la localidad de Constitución presentan una vulnerabilidad de tsunami distribuidos de la siguiente manera tres con vulnerabilidad alta, trece con media-alta y 2 con media. Para el caso de la remoción en masa dieciséis equipamientos económicos presentan vulnerabilidad alta y dos media-alta.
	Las Cañas	En esta localidad se presentan tres equipamientos económicos, los cuales presentan una vulnerabilidad media-alta para tsunami y alta para remoción en masa. Entre estos se encuentra la planta CMPC.
	Pellines	En Pellines se encuentra la caleta de pescadores la cual tiene una vulnerabilidad de tsunami media-alta y alta para remoción en masa.
	Papirúa	En esta localidad se encuentra el minimarket con vulnerabilidad de tsunami media-alta y con vulnerabilidad de remoción en masa alta.
	Loanco	La caleta de pescadores presenta en esta localidad una vulnerabilidad de tsunami medio y para vulnerabilidad de remoción en masa medio-alto.
	Pelluhue	Los equipamientos de carácter económico de la localidad de Pelluhue, presentan la siguiente vulnerabilidad de tsunami: Banco, Supermercado con vulnerabilidad media-alta y bomba de bencina y caleta de pescadores vulnerabilidad alta.
	Curanipe	La caleta de pescadores presenta un nivel de vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa.
	Cardonal	Sin equipamiento económico

Tabla 79 Resultados análisis de vulnerabilidad de equipamiento económico, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 80 muestra los resultados de vulnerabilidad de otros equipamientos correspondiente a las localidades de la región de O'Higgins.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	Dentro de este ítem los equipamientos como el jardín infantil, la biblioteca pública, el estadio municipal, iglesia, juzgado de policía local y museo municipal presentan un nivel vulnerabilidad alto.
	La Boca	Dentro de este ítem la localidad de La Boca de Rapel presenta cuatro equipamientos, el equipamiento deportivo y la cancha de fútbol presentan una vulnerabilidad alta, el jardín infantil y club del adulto mayor presentan una vulnerabilidad media-alta, esto es para el caso de exposición a la amenaza de tsunami. Para el caso de la exposición de remoción de masa sólo el club del adulto mayor presenta vulnerabilidad media-alta, el resto vulnerabilidad alta.
	Matanzas	Todos los equipamientos de la localidad presentan un grado de vulnerabilidad de nivel medio tanto por tsunami como remoción en masa. (Iglesia, Equipamiento deportivo, Junta de vecinos y camping y cabañas).
	Chorrillos	No hay presencia de equipamiento
	Puertecillo	Los dos equipamientos que están dentro de esta categoría y presente en el territorio de Puertecillo (Iglesia pentecostal y Junta de vecinos) presentan un grado de vulnerabilidad alto (tsunami y remoción en masa)
	Las Brisas	La localidad no presenta otro equipamiento
	La Vega de Pupuya	Todos los equipamientos de la localidad presentan un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alto y en remoción en masa alto (Jardín infantil, equipamiento deportivo y junta de vecinos)
	Topocalma	Esta localidad no presenta equipamiento
	Pichilemu	Los 10 equipamientos dentro de este ítem y presentes en la ciudad de Pichilemu presentan una vulnerabilidad de tsunami que está entre medio y medio-alto. Con respecto a la vulnerabilidad de remoción en masa presenta tres equipamientos con vulnerabilidad media-alta y 4 alta.
	Cáhuil	Para el caso de vulnerabilidad de Tsunami la junta de vecinos presenta valor medio-alto, la iglesia medio. La junta de vecinos, iglesia, presentan un grado de vulnerabilidad de remoción en masa medio-alto y cancha de fútbol alto.
Bucalemu	El Jardín infantil, la junta de vecinos y equipamiento deportivo presentan una vulnerabilidad de tsunami: medio-alto, medio-alto y alto respectivamente. La vulnerabilidad de remoción en masa se presenta para estos tres equipamientos con un grado alto.	

Tabla 80 Resultados del análisis de vulnerabilidad de otro equipamiento, localidades Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 81 presenta los resultados del análisis realizado sobre la vulnerabilidad de otros equipamientos a las localidades de la región del Maule

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	No presentan equipamientos en este ítem
	Llico	El gimnasio municipal, sede tercera edad y club de la unión de Llico presentan una vulnerabilidad de tsunami medio-alto, la Iglesia y casa de la cultura vulnerabilidad media. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa todos los equipamientos de este ítem presentan vulnerabilidad media-alta.
	Lipimávida	La iglesia, junta de vecinos y cancha de fútbol presentan una vulnerabilidad de tsunami medio-alto, para remoción en masa en I nivel es alto
	Iloca	La Iglesia presente en esta localidad tiene una vulnerabilidad de tsunami media y de remoción en masa medio-alta.
	La Pesca	La sede de pescadores y la iglesia presentan una vulnerabilidad media para tsunami y media lata para vulnerabilidad de remoción en masa.
	Duao	El equipamiento deportivo y junta de vecinos presentan una vulnerabilidad media de tsunami, la iglesia vulnerabilidad de tsunami media-alta. Para remoción en masa la iglesia presenta vulnerabilidad alta y el equipamiento deportivo media-alta.
	La Trinchera	Sin otro equipamiento
	Constitución	Dentro de la ciudad de Constitución existen 18 equipamientos pertenecientes a este ítem los cuales presentan la siguiente vulnerabilidad de tsunami: 8 con vulnerabilidad media-alta, cinco con media y cinco con alta. Para el caso de la remoción en masa 2 con vulnerabilidad media y 16 con alta.
	Las Cañas	La junta de vecinos y la iglesia presentan un grado de vulnerabilidad medio-alta para tsunami y alta para remoción en masa.
	Pellines	La junta de vecinos y la caleta de pescadores presentan un grado de vulnerabilidad de tsunami medio-alta. Y para remoción en masa estos equipamientos presentan vulnerabilidad alta.
	Papirúa	La capilla y la junta de vecinos presentan una vulnerabilidad de tsunami media-alta y para vulnerabilidad de remoción en masa la capilla presenta nivel alto y la junta de vecinos media-alta.
	Loanco	Sin otro equipamiento
	Pelluhue	El Jardín infantil, equipamiento deportivo, la capilla y la oficina de turismo presentan una vulnerabilidad de alta para remoción en masa. Para vulnerabilidad de tsunami el jardín infantil, culto y la oficina de turismo presentan vulnerabilidad media-alta y el equipamiento de deporte vulnerabilidad alta.
	Curanipe	El jardín infantil, multicancha, municipalidad, SERNAPESCA presentan vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa.
	Cardonal	Sin otro equipamiento

Tabla 81 Resultados del análisis de vulnerabilidad de otro equipamiento, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

2.3.3.4 Infraestructura

Las siguientes dos tablas muestran los resultados por localidad del análisis realizado a la vulnerabilidad de la infraestructura.

La Tabla 82 muestra el resultado de la vulnerabilidad de la infraestructura de cada localidad de la región de O'Higgins.

Reg.	Localidades	Comentarios
Región de O'Higgins	Navidad	La infraestructura presenta las siguientes características: la vialidad estructurante de la localidad presenta una vulnerabilidad alta al igual que los dos puentes que se encuentran dentro de la localidad, hay presencia de calles con vulnerabilidad media y media-baja pero son calles menores. Los postes del tendido eléctrico muestran una vulnerabilidad de nivel medio bajo toda la localidad, el transformador presenta un nivel medio.
	La Boca	La vialidad estructurante presenta una vulnerabilidad de nivel medio-alto, las calles que son perpendiculares al eje principal muestran vulnerabilidad alta, lo anterior es para la exposición frete al inundación de tsunami, para el caso de remoción en masa la vialidad en su gran mayoría presenta una alta vulnerabilidad. Los postes de electricidad presentan una vulnerabilidad medio-bajo, y la antena de celular un nivel medio-alto para los dos exposiciones de amenaza.
	Matanzas	La vialidad estructurante en el sector MTZ_03 y MTZ_09 presenta un grado de vulnerabilidad medio-alto. Los postes del tendido eléctrico presentan un grado de vulnerabilidad medio-bajo, las antenas de radio valor alto y celular también en un nivel medio-alto. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa la vialidad presentan valores altos, sólo en el sector MTZ_12 muestra valor medio. Los postes mantienen el valor de vulnerabilidad como también la antena de radio y celular.
	Chorrillos	La vialidad se presentan para vulnerabilidad de remoción en masa alta y para tsunami "Sin Vulnerabilidad"
	Puertecillo	La vialidad de la localidad presenta vulnerabilidad alta (de tsunami y de remoción en masa)
	Las Brisas	La vialidad de esta localidad se presenta una vulnerabilidad de tsunami y de remoción en masa alta. La antena celular presenta un grado de vulnerabilidad de nivel medio-alto.
	La Vega de Pupuya	La vialidad en esta localidad se presenta con vulnerabilidad de tsunami y de remoción en masa alto, sólo algunas calles presentan vulnerabilidad medio. Los cuatro puentes tienen un grado vulnerable de tsunami y remoción en masa alto. Los postes presentan vulnerabilidad medio-bajo.
	Topocalma	La vialidad en Topocalma se presenta con vulnerabilidad alta, tanto para remoción en masa como tsunami.
	Pichilemu	Dentro de la vialidad estructurante en los sectores más centrales de la localidad se presentan con una vulnerabilidad alta. Los tres puentes presentan una alta vulnerabilidad. La restante infraestructura esta categorizada con vulnerabilidad media. (antenas de telecomunicación, sanitaria, subestación eléctrica, postes eléctricos)
	Cáhuil	La vialidad en esta localidad presenta una vulnerabilidad alta principalmente al igual que en vulnerabilidad de remoción en masa. El puente presente en la localidad tiene una vulnerabilidad alta (para los dos casos). La antena de celular vulnerabilidad media-alta, la antena de radio alta y el transformador eléctrico presentan una vulnerabilidad media y los postes eléctricos presentan una vulnerabilidad media-baja, esto es para ambos casos tsunami y remoción en masa.
Bucalemu	La vialidad estructurante de la localidad (eje principal) presentan una vulnerabilidad de tsunami baja y alta para remoción en masa, el puente presenta vulnerabilidad alta para remoción en masa y media-alta para tsunami. La ante de celular presenta vulnerabilidad medio-alto para los dos casos, al igual que los postes eléctricos.	

Tabla 82 Resultados del análisis de vulnerabilidad de la infraestructura, localidades Región de O'Higgins

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 83 presenta los resultados del análisis de vulnerabilidad de infraestructura de las localidades de la región del Maule.

Reg.	Localidades	Comentarios
Del Maule	Boyeruca	El eje vial de esta localidad presenta una vulnerabilidad alta para ambos casos al igual que la antena de radio.
	Llico	El eje vial de la localidad presenta vulnerabilidad de tsunami alta el resto de calles presentan vulnerabilidad medio. Las antenas de telecomunicaciones presentan una vulnerabilidad de tsunami alta, el puente 1 presentan vulnerabilidad baja y el 2 vulnerabilidad alta. Los postes eléctricos presentan vulnerabilidad de tsunami medio-bajo. Para el caso de la vulnerabilidad de remoción en masa el eje vial estructurante presenta vulnerabilidad alta el resto calles medio-bajo, las antenas de telecomunicaciones presentan una vulnerabilidad de remoción en masa alta y los postes eléctricos presentan vulnerabilidad medio-bajo, el puente 1 vulnerabilidad medio y el 2 alta vulnerabilidad de remoción en masa.
	Lipimávida	La vialidad estructurante (eje central) muestra una vulnerabilidad alta, al igual que los cuatro puentes presentes en la localidad, esto es tanto para vulnerabilidad de tsunami y remoción en masa.
	Iloca	La vialidad estructurante (eje central) muestra una vulnerabilidad alta tanto de tsunami como de remoción en masa. Las antenas de telecomunicación muestran una vulnerabilidad alta al igual que el caso anterior. Los postes eléctricos presentan un grado de vulnerabilidad medio-bajo y el transformador una vulnerabilidad media.
	La Pesca	La vialidad estructurante (eje central) muestra un grado de vulnerabilidad alto de tsunami y remoción en masa, los postes eléctricos un nivel de vulnerabilidad bajo para los dos casos y el puente presentan vulnerabilidad alta para los casos.
	Duao	La vialidad se presentan con alta vulnerabilidad para tsunami y remoción en masa, el puente tiene una vulnerabilidad media para ambos caso, las antenas de telecomunicaciones presentan una vulnerabilidad alta y media-alta también para ambos casos, el transformador media tanto para tsunami y remoción en masa, y los postes eléctricos presentan un nivel de vulnerabilidad medio-bajo.
	La Trinchera	La vialidad se presenta en esta localidad con vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa.
	Constitución	La vialidad de la ciudad de Constitución presenta un grado de vulnerabilidad alto principalmente, esta situación se presentan tanto para tsunami como remoción en masa. El puente presenta un grado alto de vulnerabilidad tanto de tsunami y remoción en masa. Las antenas de celular una vulnerabilidad media-alta para tsunami y remoción en masa y las antenas de radio presentan vulnerabilidad alta (tsunami y remoción en masa). La infraestructura sanitaria también presenta una vulnerabilidad alta para ambos casos y los postes de electricidad muestran un nivel de vulnerabilidad bajo.
	Las Cañas	El eje vial de esta localidad presenta una vulnerabilidad alta, al igual que el puente tanto para tsunami como remoción en masa. Los postes eléctricos presentan una vulnerabilidad medio-bajo para tsunami y remoción en masa
	Pellines	El eje vial principal de esta localidad tiene una vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa, las calles laterales presentan una vulnerabilidad media-baja para tsunami y medio para tsunami, las antenas de celulares de esta localidad muestran una vulnerabilidad media-alta, la antena de radio presentan vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa, y los postes de electricidad una vulnerabilidad media-baja para ambos casos.
	Papirúa	El eje vial principal presentan una vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa, las calles laterales muestran una vulnerabilidad media-baja para tsunami y baja para remoción en masa. Los postes eléctricos muestran una vulnerabilidad media-baja.
	Loanco	La vulnerabilidad de la vialidad en la localidad de Loanco es alta para tsunami y remoción en masa.
	Pelluhue	El eje vial principal de la localidad presenta una vulnerabilidad alta tanto para vulnerabilidad de tsunami como remoción en masa. Los puentes tienen un grado vulnerable alto para ambos casos. Las antenas de radio vulnerabilidad alta y las de celulares medio-alto. Los postes eléctricos muestran una vulnerabilidad media-baja.
	Curanipe	El eje vial principal muestra una vulnerabilidad alta para tsunami y remoción en masa. Las antenas de telecomunicaciones presentan vulnerabilidad media-alta para los dos casos de análisis, la infraestructura sanitaria y los transformadores de corriente presentan una vulnerabilidad alta y medio tanto para tsunami como remoción en masa. Los postes eléctricos presentan una vulnerabilidad media-baja.
Cardonal	El eje vial principal de esta localidad tiene una vulnerabilidad alta, al igual que el puente. Los postes de electricidad presentan una vulnerabilidad media-baja. Esta situación es para tsunami y remoción en masa	

Tabla 83 Resultados del análisis de vulnerabilidad de la infraestructura, localidades Región del Maule

Fuente: Elaboración Propia

2.4 SÍNTESIS Y MAPAS DE RIESGO

Las citadas modelaciones y los análisis de expertos permiten la generación de mapas temáticos de riesgo ante las amenazas analizadas. La metodología se basa en el concepto de riesgo como el *producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza, por la vulnerabilidad y exposición* (Ayala-Carcedo, 1993)¹⁸. Considerando que el análisis de vulnerabilidad se realiza a cada elemento de manera individual, el análisis de riesgo se realiza también para cada elemento. En el siguiente apartado se entrega la metodología utilizada para analizar el grado de riesgo, y llegar a los mapas de riesgo.

2.4.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO

En el análisis de vulnerabilidad, se llega para cada elemento analizado (de viviendas, equipamientos e infraestructuras) a un valor de vulnerabilidad final ante cada amenaza, equivalente a un número entero entre 0 y 4. Para el cálculo del riesgo (Tabla 84), este valor es multiplicado por un factor de amenaza, según en qué grado de amenaza se encuentra el elemento (cada amenaza se modeló y sintetizó en tres grados de probabilidad o intensidad). Según el resultado de esta multiplicación, que da un puntaje con decimales entre 0 y 10, se asigna el grado de riesgo (Tabla 85)

		TSUNAMI			→ AMENAZA
		Altura de ola > 7m Altura de ola entre 2m y 7m Altura de ola < 2m			→ Grados de amenaza
		2,5	2,0	1,2	→ Factor de amenaza
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	4,8
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	3,6
	MEDIO	2	5	4	2,4
	BAJO	1	2,5	2,0	1,2
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0

Grado de Vulnerabilidad cualitativo Valor de vulnerabilidad

Puntaje de riesgo (0 a 10)
 El color equivale al grado de riesgo.

Tabla 84. Explicación de tabla de asignación de puntajes de riesgo.

Fuente: Elaboración Propia

¹⁸ Ayala-Carcedo, F. 1993. Estrategias para la reducción de desastres naturales. En: Investigación y Ciencias 200, p. 6-13.

Rango de puntaje (V x A)	Grado de riesgo
6,1 - 10	RIESGO ALTO
4,1 - 6	RIESGO MEDIO-ALTO
2,1 - 4	RIESGO MEDIO-BAJO
0,1 - 2	RIESGO BAJO
0	SIN RIESGO
	SIN RIESGO – FUERA DE AMENAZA

Tabla 85. Asignación de grado de riesgo según puntaje.

Fuente: elaboración propia.

Considerando que las modelaciones de las amenazas se realizaron de manera independiente, la implicancia en el riesgo de los tres grados de amenaza, no es equivalente para todas las amenazas. Es por esto que a los tres grados se les asigna un factor, el que varía en cada amenaza. Los valores de vulnerabilidad se mantienen siempre entre 0 y 4. Se utilizan ciertos criterios generales:

-Elementos sin vulnerabilidad, implica que no presentan riesgo. Por esta razón, a “sin vulnerabilidad” se le asigna valor = 0, de manera que al multiplicarlo por cualquier factor de amenaza, da como resultado riesgo= 0.

- Ante alto grado de amenaza, aquellos elementos de vulnerabilidad alta o media-alta, presentan alto riesgo, por lo que para todas las amenazas se utiliza factor 2,5.

A continuación se presenta la metodología utilizada en el cálculo de riesgo ante cada amenaza:

TSUNAMI

En el caso de tsunami, los tres grados de amenaza están determinados por la altura de la ola en la modelación del peor escenario. Se han asignado los factores de amenaza (Tabla 86), considerando el supuesto de que una ola de entre 2 y 7 metros aún presenta un nivel de riesgo alto para una construcción o elemento muy vulnerable. Por esto, al grado de amenaza medio (Altura de ola entre 2m y 7m) se le asigna un factor 2,0, cercano al factor 2,5 asignado al grado alto (altura de ola > 7m), de esta manera el grado de amenaza medio genera niveles de riesgo similares a los de grado de amenaza alto.

			TSUNAMI			
			Altura de ola > 7m	Altura de ola entre 2m y 7m	Altura de ola < 2m	Fuera de amenaza
			2,5	2,0	1,2	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	4,8	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	3,6	0
	MEDIO	2	5	4	2,4	0
	BAJO	1	2,5	2,0	1,2	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 86. Asignación de puntaje de riesgo ante Tsunami.

Fuente: elaboración propia.

INUNDACIÓN FLUVIAL

En el caso de inundación fluvial (Tabla 87), al igual que en tsunami, el grado de amenaza medio (período de retorno de 10 años) se considera cercano al grado de amenaza alto (período de retorno de 5 años), por lo que se le asigna un factor de amenaza de 2,0 de manera que genera niveles de riesgo similares a los de amenaza alta. Por el contrario, al grado de amenaza bajo, dado que el período de retorno es de 100 años –es decir, de baja probabilidad en relación a los grados medio y alto- se utiliza un factor de amenaza de 0,7 que no genera niveles de riesgo altos o medio-altos.

			INUNDACIÓN FLUVIAL			
			Período de retorno 5 años	Período de retorno 10 años	Período de retorno 100 años	Fuera de amenaza
			2,5	2,0	0,7	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	2,8	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	2,1	0
	MEDIO	2	5	4	1,4	0
	BAJO	1	2,5	2,0	0,7	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 87. Asignación de puntaje de riesgo ante Inundación Fluvial.

Fuente: elaboración propia.

AMPLITUD SÍSMICA

La ocurrencia de amplitud sísmica considera en sí un evento sísmico como la amenaza misma (de magnitud capaz de inducir un nivel máximo de aceleración horizontal de roca basal igual a 0.4g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)). Por lo que la baja amenaza de amplitud sísmica, de todas maneras implica que estaría ocurriendo un sismo en esa zona, solo que sin el fenómeno de amplificación. Por esta razón, ante grado bajo de amenaza, igual se asigna un factor relativamente alto en comparación a las otras amenazas, de manera de que genera un riesgo medio-alto para elementos de vulnerabilidad media-alta o alta. Como ejemplo, una vivienda de adobe en mal estado, tendría vulnerabilidad alta; aún estando en una zona con amplitud sísmica baja, estaría siendo afectada por un sismo, lo que presenta alto riesgo. Sin embargo, para mantener coherencia metodológica con el análisis de riesgo según las otras amenazas, a aquellas zonas fuera de amenaza de amplitud sísmica igual se les asigna factor 0,0 lo que genera valor 0 = “sin riesgo”.

		AMPLITUD SÍSMICA				
		Grado alto	Grado medio	Grado bajo	Fuera de amenaza	
		2,5	2,0	1,5	0,0	
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	8	6,0	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	6,0	4,5	0
	MEDIO	2	5	4	3,0	0
	BAJO	1	2,5	2,0	1,5	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 88. Asignación de puntaje de riesgo ante Amplitud sísmica.

Fuente: elaboración propia.

REMOCIÓN EN MASA POR SISMO

En el caso de remoción en masa por sismo, ocurre que según la metodología utilizada en la modelación de la amenaza, se asigna “grado bajo” a zonas que presentan características considerablemente favorables, es decir probabilidad de que ocurra una remoción en masa, muy baja cercana a nula, y “grado medio” a zonas donde la probabilidad es media-baja. Considerando

esto, al grado bajo de amenaza se le asigna un factor 0,4 de manera que multiplicado por todos los valores de vulnerabilidad, da por resultado riesgo bajo. Al grado medio se le asigna un factor 1,0 que se traduce en riesgos entre bajo y medio.

Cuando una zona presenta grado alto de amenaza, efectivamente las condiciones son desfavorables, y aunque el evento de remoción en masa por sismo es de baja frecuencia, sus efectos en zonas de alto grado son devastadoras, por lo que se utiliza factor 2,5 como en todas las otras amenazas. Aquí hay que considerar que en el análisis de vulnerabilidad, a todas las variables en la vulnerabilidad física, se les asigna vulnerabilidad alta, para todos los elementos.

			REMOCIÓN EN MASA POR SISMO			
			Grado alto	Grado medio	Grado bajo	Fuera de amenaza
			2,5	1,0	0,4	0,0
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	4	1,6	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	3,0	1,2	0
	MEDIO	2	5	2	0,8	0
	BAJO	1	2,5	1,0	0,4	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0	0	0

Tabla 89. Asignación de puntaje de riesgo ante Remoción en Masa por Sismo.

Fuente: elaboración propia.

LICUEFACCIÓN

En el caso de Licuefacción, en los mapas de amenaza se consideró y representó sólo el grado alto de amenaza, ya que según la metodología utilizada las zonas de amenaza media o baja, presentan una probabilidad cercana a nula de que ocurra un evento de licuefacción. Según esto, el análisis de riesgo sólo contempla el grado alto de licuefacción, considerando a todo el resto del área como fuera de amenaza. En el caso de grado alto de amenaza, efectivamente las condiciones son desfavorables, y aunque el evento de licuefacción es de baja frecuencia, sus efectos cuando ocurre son devastadores, por lo que se utiliza factor 2,5 como en todas las otras amenazas. Al igual que en remoción en masa, hay que considerar que en el análisis de vulnerabilidad, a todas las variables en la vulnerabilidad física, se les asigna vulnerabilidad alta, para todos los elementos.

		LICUEFACCIÓN		
		Grado alto		Fuera de amenaza
		2,5	0,0	
VULNERABILIDAD	ALTO	4	10	0
	MEDIO-ALTO	3	7,5	0
	MEDIO	2	5	0
	BAJO	1	2,5	0
	SIN VULNERABILIDAD	0	0	0

Tabla 90. Asignación de puntaje de riesgo ante Licuefacción.

Fuente: elaboración propia.

METODOLOGÍA ESPECÍFICA

Lo anterior se aplica en tablas (en programas Excel y ArcGis), tal como se explica para el cálculo de vulnerabilidad. Como ejemplo, a continuación se muestra un fragmento de tabla de construcciones, y el cálculo de riesgo ante algunas amenazas (Tsunami, Remoción en Masa y Amplitud Sísmica). En los campos VUL_TS, VUL_RM y VUL_AS están los valores de vulnerabilidad finales. En los campos AM_TS, AM_RM y AM_AS están los factores de amenaza. Estos valores se asignan a cada elemento en ArcGis, según en qué grado de amenaza se encuentra dicho elemento. Al multiplicar cada valor de vulnerabilidad por el respectivo factor de amenaza, por ejemplo VUL_TS x AM_TS, resulta un valor entre 0 y 10, en el campo RSG_TS_VAL. Posteriormente, según este valor se asigna el grado de riesgo según la Tabla 85, el que queda en el campo RSG_TS. Finalmente, es este el valor el que se representa en los planos finales de riesgo.

ID_	LOC_OCUC	VUL_TS	VUL_RM	VUL_AS	AM_TS	AM_RM	AM_AS	RSG_TS_VAL	RSG_TS	RSG_RM_VAL	RSG_RM	RSG_AS_VAL	RSG_AS
300	CAHUIL	4	4	4	0,0	0	2,0	0,00	0	0,00	0	8,00	4
301	CAHUIL	4	4	4	2,0	0	0	8,00	4	0,00	0	0,00	0
302	CAHUIL	2	4	1	2,0	0	0	4,00	2	0,00	0	0,00	0
303	CAHUIL	2	4	1	2,0	0	0	4,00	2	0,00	0	0,00	0
304	CAHUIL	3	4	1	0,0	0	2,0	0,00	0	0,00	0	2,00	1
305	CAHUIL	3	4	1	0,0	1,0	2,0	0,00	0	4,00	2	2,00	1
306	CAHUIL	3	4	2	2,0	0,4	1,5	6,00	3	1,60	1	3,00	2
307	CAHUIL	3	4	3	0,0	0	2,0	0,00	0	0,00	0	6,00	3
308	CAHUIL	3	4	3	2,0	0	2,0	6,00	3	0,00	0	6,00	3
309	CAHUIL	3	4	1	0,0	0	2,0	0,00	0	0,00	0	2,00	1
310	CAHUIL	2	4	2	2,0	0	0	4,00	2	0,00	0	0,00	0
311	CAHUIL	3	4	3	2,0	0,4	0	6,00	3	1,60	1	0,00	0
312	CAHUIL	3	4	3	2,0	0	2,0	6,00	3	0,00	0	6,00	3

Tabla 91. Fragmento de tabla para cálculo de riesgo.

Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE RIESGO PARA POBLACIÓN

En la categoría población, la metodología es diferente. Dado que no se realiza un análisis de vulnerabilidad, sino que se hace una estimación de la cantidad de población asignada a cada sector, en los mapas de riesgo se muestra la cantidad de población de cada sector expuesta a la amenaza, sin hacer diferencia entre los diferentes grados de amenaza.

2.4.2 PRODUCTOS ENTREGADOS

La metodología recién expuesta, permitió generar los mapas de riesgo para cada localidad, según las amenazas que se presentan. Como ejemplo, se presentan los mapas de riesgo ante tsunami y ante amplitud sísmica para la localidad de Navidad.

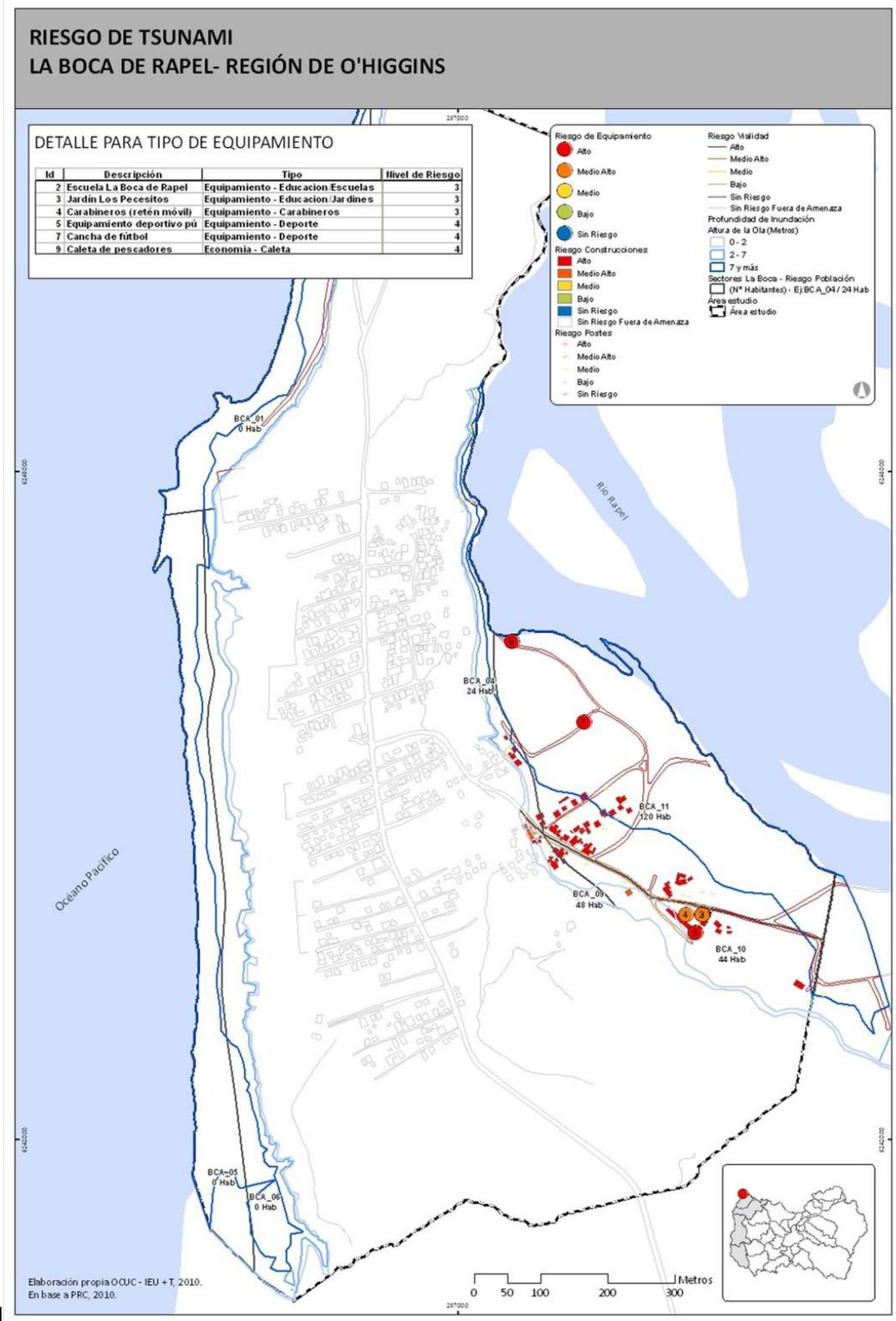


Figura 36. Mapa de riesgo ante tsunami, localidad de Navidad.

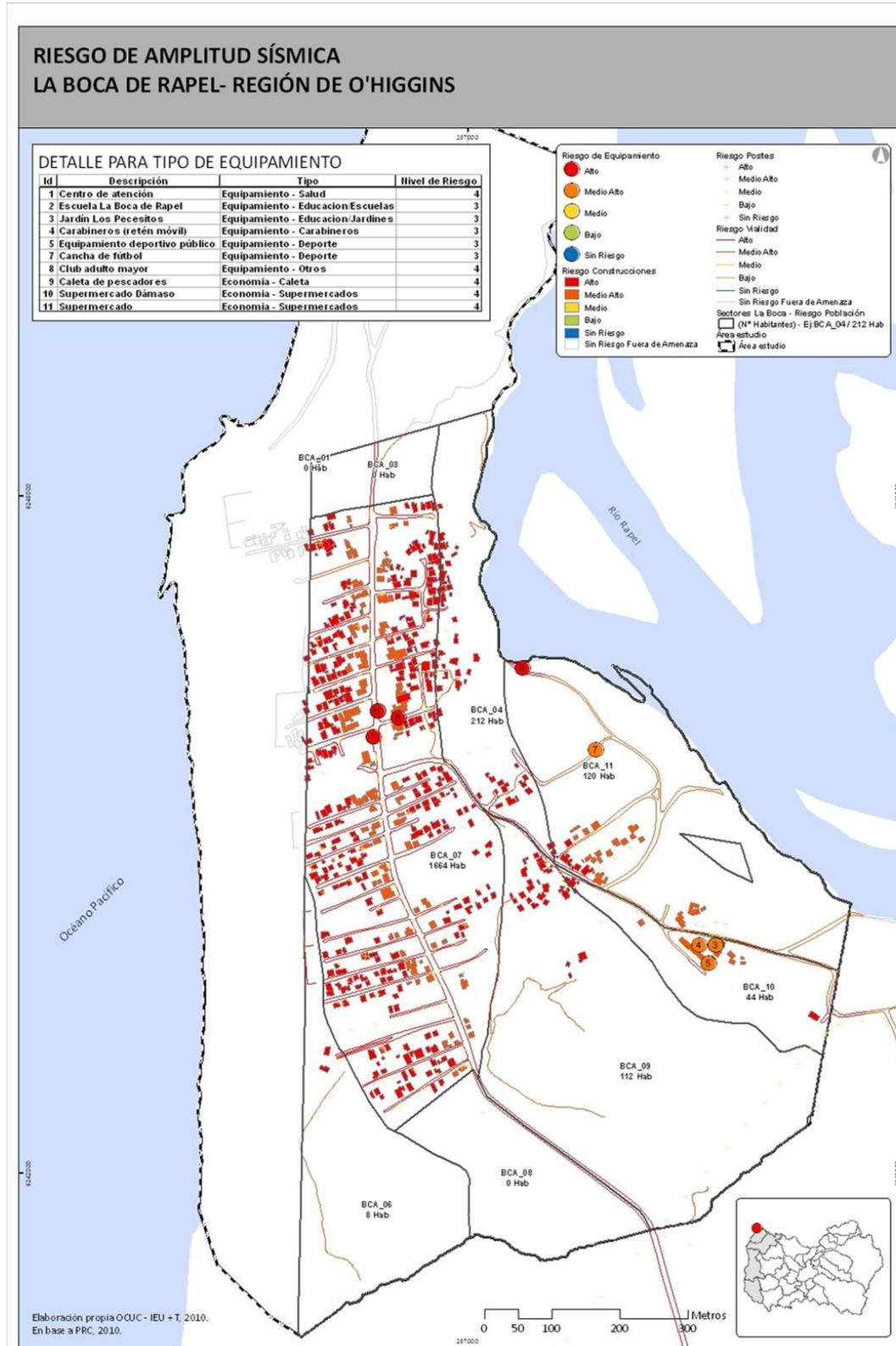


Figura 37. Mapa de riesgo ante amplitud sísmica, Localidad de La Boca.

2.4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO

Los resultados del análisis de riesgo se encuentran en los dossiers por localidad, tanto en mapa como en memoria explicativa.

3 RECOMENDACIONES GENERALES

3.1 INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES CONCEPTUALES

El siguiente capítulo contiene las recomendaciones generales que derivan tanto del análisis de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo analizados a lo largo del estudio, como del estudio de bibliografía y referentes. Incorpora recomendaciones respecto a instrumentos de planificación territorial, obras de mitigación, planes de prevención, relocalizaciones de infraestructuras y equipamientos, junto con otras herramientas que permitan a la sociedad en su conjunto enfrentar las amenazas naturales objeto de estudio.

Las recomendaciones se han desarrollado bajo la comprensión de los siguientes objetivos que en principio deberían corresponder a prioridades en función de su orden. Como se podrán observar, el primer objetivo es asegurar la protección de las vidas humanas por sobre todas las cosas. Si bien en las acciones específicas según sea el ámbito de acción de cada una de las instituciones, la acción prioritaria podrá variar, en el sentido general de las acciones recomendadas, los objetivos son los siguientes:

1. Asegurar la protección de vidas humanas.
2. Asegurar la operación de la infraestructura y equipamiento crítico.
3. Mitigar las amenazas en los territorios con mayor vulnerabilidad.
4. Proteger el patrimonio natural y construido.
5. Evitar desarrollos futuros en zonas amenazadas.
6. Regular usos en función de la información de amenazas y riesgos en instrumentos de planificación territorial.
7. Condicionar el desarrollo de las zonas amenazadas del borde costero.

En términos específicos las acciones recomendadas estarán orientadas a evitar los riesgos en las zonas amenazadas, a regular los usos de suelos en las zonas amenazadas, entregar bases para un sistema de seguros privados en aquellas zonas, detección, relocalización y fortalecimiento de infraestructura básica y equipamiento crítico localizados en zonas amenazadas, condicionamientos para la construcción en aquellas zonas y recomendaciones que mejoren la capacidad de recuperación del entorno construido.

En términos generales, todas las recomendaciones se entenderán como medidas de prevención o mitigación de riesgos naturales. En este sentido, se entenderán por *medidas de mitigación* aquellas disposiciones e intervenciones que se llevan a cabo para minimizar el riesgo frente a eventos de peligro. Es pertinente aclarar la diferencia con *obras de mitigación*, que es un concepto más específico y hace referencia a aquellas obras de ingeniería que tienen por objeto minimizar el riesgo frente a eventos de peligro¹⁹.

El primer paso esencial en cualquier medida de mitigación o prevención es entender la naturaleza de la amenaza con que se pueda ver enfrentado. Es importante tener en cuenta que la mitigación implica no sólo salvar vidas y lesiones y reducir las pérdidas de propiedad, sino también reducir las consecuencias adversas que causan las amenazas naturales en las actividades económicas e instituciones sociales.

Bajo estos conceptos, el contenido del presente capítulo se entiende como recomendaciones generales de medidas de mitigación, ya que el concepto engloba todas las iniciativas, acciones y obras recomendadas.

3.1.1 FORMULACION DE RECOMENDACIONES GENERALES

Las recomendaciones generales se orientan a identificar medidas tanto de mitigación como de prevención, distinguiendo aquellas de tipo estructurales de las no estructurales. En dicho encuadre de tipo de recomendaciones, se precisa el ámbito de competencia de los Planes Reguladores según el alcance de nuestro ordenamiento jurídico vigente y que es aplicable mediante la formulación y entrada en vigencia de los IPT, a partir de los insumos que proporcionen el presente estudio de riesgos fundados para sus actualizaciones y/o modificaciones. Esto último en el ámbito estricto de los que es el alcance de la norma urbanística. En forma complementaria cabe mencionar otro tipo de instrumentos como los indicativos, o los que se orientan a la gestión de los territorios. Lo anterior según se indica en la Tabla 92. Cuadro de clasificación de acciones:

19 Es pertinente la aclaración dado que en el Plan de Trabajo del presente estudio, sólo se hace referencia al término “medidas de mitigación”.

	MITIGACIÓN	PREVENCIÓN
ESTRUCTURAL	IPT PRC - PRI	Plano Regulador Zonificación Áreas de Riesgo
NO ESTRUCTURAL	Norma Urbanística	Otros planes como de educación, emergencia y/o evacuación

Tabla 92. Cuadro de clasificación de acciones

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 TIPO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Conforme al marco regulatorio de la planificación urbana territorial en Chile, se sistematizan los tipos de recomendaciones según se orienten a la identificación de acciones posibles de resolver las limitaciones a los territorios según su condición de riesgos, para los fines de desarrollo de proyectos. A éstas medidas se les ha llamado medidas de tipo estructural por cuanto comprometen obras de ingeniería u otras intervenciones afines.

En forma complementaria se identifican aquellas medidas de mitigación que son parte de la gestión público / privada del territorio y que no tienen asidero en la norma urbanística vigente y que se enuncian a continuación como medidas de mitigación no estructurales.

La distinción de medidas estructurales de las no estructurales, obedece a identificar aquellas obras de mitigación como acciones respaldadas por un estudio de riesgos fundados y suscrito por un profesional especialista y aprobado por un organismo competente. Esto para el desarrollo de futuros proyectos en las áreas de riesgos (amenaza o peligro) dando cumplimiento a lo que establece el Art. 2.1.17 de la OGUC.

Las medidas no estructurales apuntan a contar con los instrumentos de tipo normativos para regular la ocupación del territorio conforme a sus limitaciones por condición de riesgos y/o conforme al cumplimiento de los requisitos señalados en los estudios fundados para la ejecución de los proyectos en particular.

Medidas estructurales de mitigación:

En las medidas de mitigación estructurales destacan las obras de ingeniería que tienen por objeto minimizar el riesgo frente a eventos de peligros:

- Obras Tipo: Defensas, Muros, contenciones, diques, rompeolas, pretilas y zócalos.
- Obras de Rellenos de terreno, sobre levantamientos.
- Obras de tratamiento de laderas, taludes, terraplenes con fines de contención, modificación en las pendientes naturales de los terrenos.
- Obras de encauzamiento o canalización de quebradas y de cursos de agua que mitigan el riesgo de inundación. Ej: Entubamientos, construcción de canales, acueductos, abovedamiento, entre otras.
- Obras de construcción de sistema de evacuación de aguas lluvias en áreas urbanas, colectores, Obras de Arte y drenajes.
- Obras de construcción de encauce de quebradas en sectores urbanos o aledaños.
- Obras viales, diseño de vías de evacuación conforme a la definición de vías estructurantes, alternativas de conectividad, de circulación y acceso expedito a zonas seguras, refugios y torres de evacuación.
- Obras portuarias, construcción espigones, molos.
- Obras de tratamiento de coberturas del suelo, tanto para mitigación de riesgo de inundación en riberas como para riesgos de remoción en masa del tipo: Coberturas vegetaciones, plantaciones de especies arbóreas, Proyectos de Paisajismo, parques de borde inundables, transformaciones de paisajes de borde, Ejecución de Áreas Verdes, Parques, Espacios Públicos, Parques de vegetación y dunas, Tratamiento de laderas, taludes, terraplenes con fines de contención, modificación en las pendientes naturales de los terrenos, entre otras obras.

Medidas no estructurales de mitigación:

- Normas Urbanísticas que se encuentran facultado para definir los IPT respecto a:
 - Usos de suelo, según aptitud para la localización y/o emplazamiento de edificaciones.

- Disposiciones específicas de condicionantes de edificación.
- Ordenanzas Municipales específicas de edificaciones (materialidad, sistemas constructivos, cimentación, límites prediales, etc.).
- Ordenanzas específicas de espacios públicos y áreas verdes urbanas, estándares, vegetación, tipos mobiliarios, etc.).
- Estudios y evaluaciones para el mejoramiento de bordes costeros, y/o riberas de cauces naturales.
- Actualización de levantamiento de información y datos geofísicos (Batimetrías fluviales y de costas, aerofotometrías, mapas geológicos, etc.).
- Estudios de zonificación y micro zonificación costera con fines de ordenamiento territorial, planes de uso de borde costero, planes maestros.
- Iniciativas de mejoramiento medioambiental.
- Prevención de riesgos y planes de emergencia.

3.1.3 TIPO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN

En la prevención de desastres naturales, se sitúa el carácter prospectivo de la planificación urbana, en el sentido de anticiparse a lo que pueda pasar en el futuro en materia de desastres mediante metodologías robustas para delimitar adecuadamente las áreas de riesgos, estableciendo los gravámenes que correspondan. Ello, de manera de evitar la ocupación de dichas áreas con el objeto de salvaguardar la vida humana, mediante un adecuado uso del territorio. El resto de medidas señaladas en este punto están fuera del ámbito de competencia legal de los IPT, y aluden a medidas de tipo medio ambiental, al tratamiento de componentes del medio físico como el suelo, cauces naturales, entre otros; así como planes de educación respecto al enfrentamiento del riesgo, evacuación y/o emergencias.

Medidas estructurales de prevención:

- Plano de zonificación de Áreas de Riesgos, estableciendo limitaciones a los distintos usos conforme a los estudios fundados de riesgo.
- Medidas para evitar la degradación de suelos que aumenta la probabilidad de riesgo de remoción en masa.

- Medidas para evitar el socavamiento de bordes fluviales por acción antrópica.
- Medidas para evitar la erosión del suelo por acción animal o antrópica.
- Obras de conservación de cauces y esteros, limpieza de canales, como:
 - Normalización de cauces, regularización del lecho en sectores no canalizados y despejar el cauce de materiales áridos que impiden el escurrimiento de las aguas, por ejemplo.
 - Obras de Mejoramiento, reposición, construcción, forestación de contrafuertes, (pre) cordilleranos, (concepción integral de cuencas).

Medidas no estructurales de prevención:

- Medidas de gestión ambiental territorial de cuencas y bordes costeros.
- Planes de evacuación.
- Planes de emergencia, implementación de un sistema de alerta temprana.
- Planes de educación ciudadana en planificación urbana y conocimiento de la normativa local que instruye sobre los usos más adecuados y disposiciones específicas a las edificaciones para construir bien y seguro.
- Planes de educación en temas de riesgos y cómo enfrentar las emergencias dirigido a la formación escolar.
- Planes de educación ambiental en fenómenos naturales.
- Normalización y codificación de señaléticas para vías de evacuación (Materialización de señaléticas de seguridad para enfrentar catástrofes).
- Planes de manejo integrado de zonas costeras.
- Capacitación de cómo habitar las zonas costeras.

3.2 RECOMENDACIONES RESPECTO A LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL (IPT).

3.2.1 RESPECTO A LAS ÁREAS URBANAS Y RURALES

Respecto al alcance de la norma urbanística conforme al marco jurídico vigente señalado en la LGUC y OGUC, los IPT tienen limitaciones para permitir y/o prohibir los usos de suelo de tipo residencial dentro del cual cabe la definición de la vivienda, según corresponda a áreas rurales o urbanas.

Respecto al desarrollo de proyectos habitacionales en el área rural, cuando se trate de vivienda privada, su localización queda reglamentada a través del Decreto 3516 para segunda vivienda y parcelas de agrado.

En el caso de las viviendas con subsidio del Estado, su localización en el área rural está condicionada por la aplicación del Art. 55 de la LGUC. Sin embargo, en el entendido de este informe se recomienda no promover la localización de viviendas con subsidios del Estado en áreas de riesgos, identificadas en el presente estudio como zonas de peligrosidad alta y media. Para aquellos casos en que se localicen zonas de media peligrosidad se recomienda que los proyectos aseguren la ejecución de obras que permitan disminuir la vulnerabilidad de la población. Esto último como indicación que se aparta de la norma urbanística de los IPT.

Para las Áreas Urbanas circunscritas al interior de los límites urbanos propuestos en los IPT, se considerará la aplicación de las normas urbanísticas a través de disposiciones específicas al uso de suelo y condicionantes de edificación, conforme al marco regulatorio vigente.

3.2.2 RESPECTO A LA ZONIFICACIÓN DE LOS IPT, DEFINICIÓN DE ÁREAS DE RIESGOS.

Como se indicó en la introducción, el estudio ha definido dos tipos de zonificaciones; las zonificaciones de amenazas y las zonificaciones de riesgo. Según la legislación actual la identificación de amenazas en el territorio se transformará en los insumos sustanciales para las zonificaciones que serán definidas en los planos reguladores específicos, como **Áreas de Riesgos**. Asimismo, se considera que las Áreas de Riesgo que son generadas por este estudio, deberían ser consideradas como información complementaria para las citadas actualizaciones y/o modificaciones de los planos reguladores (ver Tabla 93).

ZA3	ZA2	ZA1
Zona de amenaza alta	Zona de amenaza media	Zona de baja amenaza
Zonas Restringidas al desarrollo urbano Áreas de Riesgo	Áreas de Riesgos Zonas de desarrollo condicionado	Zonas de desarrollo condicionado
•Restricciones altas al desarrollo urbano	•Restricciones medias al desarrollo urbano	•Restricciones bajas al desarrollo urbano
• En zonas de riesgos según estudios fundados establecer norma urbanística restrictiva respecto a los usos de suelo permitidos como áreas verdes y espacios públicos.	•Condicionamiento de construcciones residenciales, comerciales y públicas a través de normas técnicas	•Condicionamiento de construcciones residenciales, comerciales y públicas a través de normas técnicas
•Prohibición de tipos de uso de suelo del tipo residencial, equipamiento, actividades productivas e instalaciones u obras complementarias al desarrollo de infraestructuras.	•Condicionamiento de infraestructura. Norma urbanística restrictiva respecto a uso de suelo de equipamiento crítico (clases educación, salud, seguridad, y servicios)	•Condicionamiento de infraestructura y equipamiento crítico
•Prohibición de equipamiento según escala mediana y mayor conforme a la carga de ocupación y el tipo de vía que enfrentan.	•Condicionamiento de equipamiento según escalas mediana y mayor conforme a la carga de ocupación y el tipo de vía que enfrentan.	•Condicionamiento de infraestructura y equipamiento crítico
•Desarrollo de seccionales	•Desarrollo de seccionales	•Desarrollo de seccionales
•Definición de obras de mitigación necesarias para levantar las limitaciones de usos en áreas de riesgos según estudios fundados (Art. 2.1.17 OGUC)	••Definición de obras de mitigación necesarias para levantar las limitaciones de usos en áreas de riesgos según estudios fundados (Art. 2.1.17 OGUC) s	••Definición de obras de mitigación necesarias para levantar las limitaciones de usos en áreas de riesgos según estudios fundados (Art. 2.1.17 OGUC)
•Declaratorias de Bienes nacionales de uso público como Áreas verdes y para la generación de espacios públicos identificadas como zonas seguras y delimitación de fajas de vías estructurantes para los fines de ser consideradas como vías de evacuación.	Declaratorias de Bienes nacionales de uso público como Áreas verdes y para la generación de espacios públicos identificadas como zonas seguras y delimitación de fajas de vías estructurantes para los fines de ser consideradas como vías de evacuación.	• Declaratorias de Bienes nacionales de uso público como Áreas verdes y para la generación de espacios públicos identificadas como zonas seguras y delimitación de fajas de vías estructurantes para los fines de ser consideradas como vías de evacuación.

Tabla 93. Cuadro de principales acciones recomendadas según las zonas de amenazas de tsunami e inundación fluvial.

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de amenazas define tres zonas con distintos niveles de amenazas (bajo, medio y alto). En base a esta zonificación, en la posterior actualización y/o modificación de los planes reguladores comunales se podrán definir zonas restringidas al desarrollo urbano como áreas de riesgos y zonas de desarrollo condicionado, conforme a los niveles de amenaza alto, medio y bajo, identificados en el estudio de riesgos. Según lo indica la OGUC Art. 2.1.17: *“En los Instrumentos de Planificación Territorial que corresponda podrán definirse áreas de riesgo, cuando proceda y previo estudio específico, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos”*. Para cumplir con esta zonificación de Áreas de Riesgo, se podrán considerar los resultados del presente Estudio como insumos, tanto los mapas de amenazas como los mapas de riesgos, que consideran

los distintos niveles de vulnerabilidad de la población, las construcciones residenciales, los equipamientos críticos e infraestructura básica.

3.2.3 RESPECTO AL PERFECCIONAMIENTO DE MAPAS DE RIESGO.

Las condiciones particulares del estudio han permitido dar cuenta de la necesidad de perfeccionar los instrumentos actuales que rigen el territorio. Este punto es especialmente sensible hoy respecto a la consideración de amenazas y riesgos naturales en los instrumentos de planificación territorial. En términos generales, el estudio ha dado cuenta de la gran cantidad y calidad de información que deberá ser generada en el futuro para poder contar con una base de información adecuada a las nuevas demandas del desarrollo.

Todo lo anterior, hace prever la necesidad de nuevos estudios de detalle en diversos aspectos como ha sido planteado en las modelaciones de tsunami que no cuentan actualmente con los antecedentes batimétricos necesarios para modelaciones más ajustadas. El contar con este tipo de información permitiría realizar estudios que ayudarían a ajustar las medidas de planificación, mitigación y prevención que son y serán necesarias a lo largo de todo el territorio costero.

En cuanto a la respuesta de las construcciones ante el terremoto del 27 de febrero, es conocido y reconocido el buen comportamiento de las edificaciones públicas y privadas. Asumiendo que esta buena reacción está fuertemente ligada al marco legal y normativo que rige las edificaciones, los expertos e instituciones responsables se han concentrado en realizar nuevos ajustes a los instrumentos disponibles.

Una de las enseñanzas más relevantes de la catástrofe está relacionada al diferente comportamiento que tuvieron edificaciones con sistemas constructivos similares según las características de composición del suelo (subsuelo). Este punto ha sido ratificado por el reciente estudio de realizado en Haití para United States Geological Survey que da cuenta de las diferencias de amplitud sísmica en función de los diversos tipos de capas sedimentales²⁰ (HOUGH, 2010).

Como conclusión este estudio plantea la necesidad de contar con microzonificaciones que puedan ser incorporadas en los instrumentos de planificación territorial con el objeto de promover los adecuados sistemas constructivos. Las microzonificaciones se entienden como la identificación de áreas separadas individualmente que tienen diferentes potenciales frente a los efectos del terremoto.

²⁰ Susan E. Hough et al. (2010) “Localized damage caused by topographic amplification during the 2010 M 7.0 Haiti earthquake” Nature Geoscience 3 , 778–782 (2010) 15 June 2010. Published online 17 October 2010

Se considera pertinente iniciar un plan de evaluación de los suelos de las áreas urbanas con el objeto de ampliar el espectro de información disponible para el ordenamiento territorial y por consiguiente, la evaluación de acciones tendientes a perfeccionar los propios instrumentos de planificación territorial. En este sentido, se puede considerar como referente la experiencia de la zona cafetera de Colombia, donde luego del terremoto de Armenia en 1999 desarrolló una completa estrategia de mejoramiento de información que lo hoy les permite contar con una robusta plataforma de información basada en la microzonificación.

3.2.4 RESPECTO AL USO DEL BORDE COSTERO: ZONAS DE PROTECCIÓN.

Las comunas de Borde Costero cuentan con una zona de protección conforme al ordenamiento jurídico vigente cual es DFL N°340 de 1960 que se extiende a bordes costeros lacustres, fluviales además de los de tipo marítimos.

La administración de ese borde costero nacional se encuentra normada por el DS (M) N675 de 1994 que entrega la administración de estas zonas a la actual Subsecretaría para las Fuerzas Armadas.

La OGUC establece la facultad para que los Planes Reguladores declaren “Zona de Protección Costera” conforme a su definición (Modificación DS 89- DO 29.07.98). Esto es una zona que delimita una faja de a lo menos 80 metros (también de ancho variable) medido de la línea de playa (que se interpreta como línea de más alta marea) pudiendo establecer condiciones de usos de suelo, cuyo propósito es de asegurar el ecosistema costero, prevenir y controlar su deterioro conforme a su definición. Dentro de este propósito cabe mencionar el resguardo frente a la amenaza de tsunami, tipo de riesgo abordado en particular en el presente estudio.

Para las delimitaciones de terrenos de playa sólo en aquellos casos en que la costa se enfrenta a terrenos fiscales se genera una franja de protección costera de 80 metros hacia el interior a partir de la línea de la más alta marea (ver Figura 38).

Como se puede ver en la figura, en los casos que se enfrenta a terrenos particulares la franja de protección se acota a sólo 8 metros para los fines de garantizar el acceso público al borde costero.

Vista la posibilidad de repensar la gestión del borde costero nacional frente a la previsión de riesgos, se propone estudiar la definición de una zona de resguardo de mayor envergadura para aquellos casos de terrenos particulares con títulos de dominio con deslinde al mar.

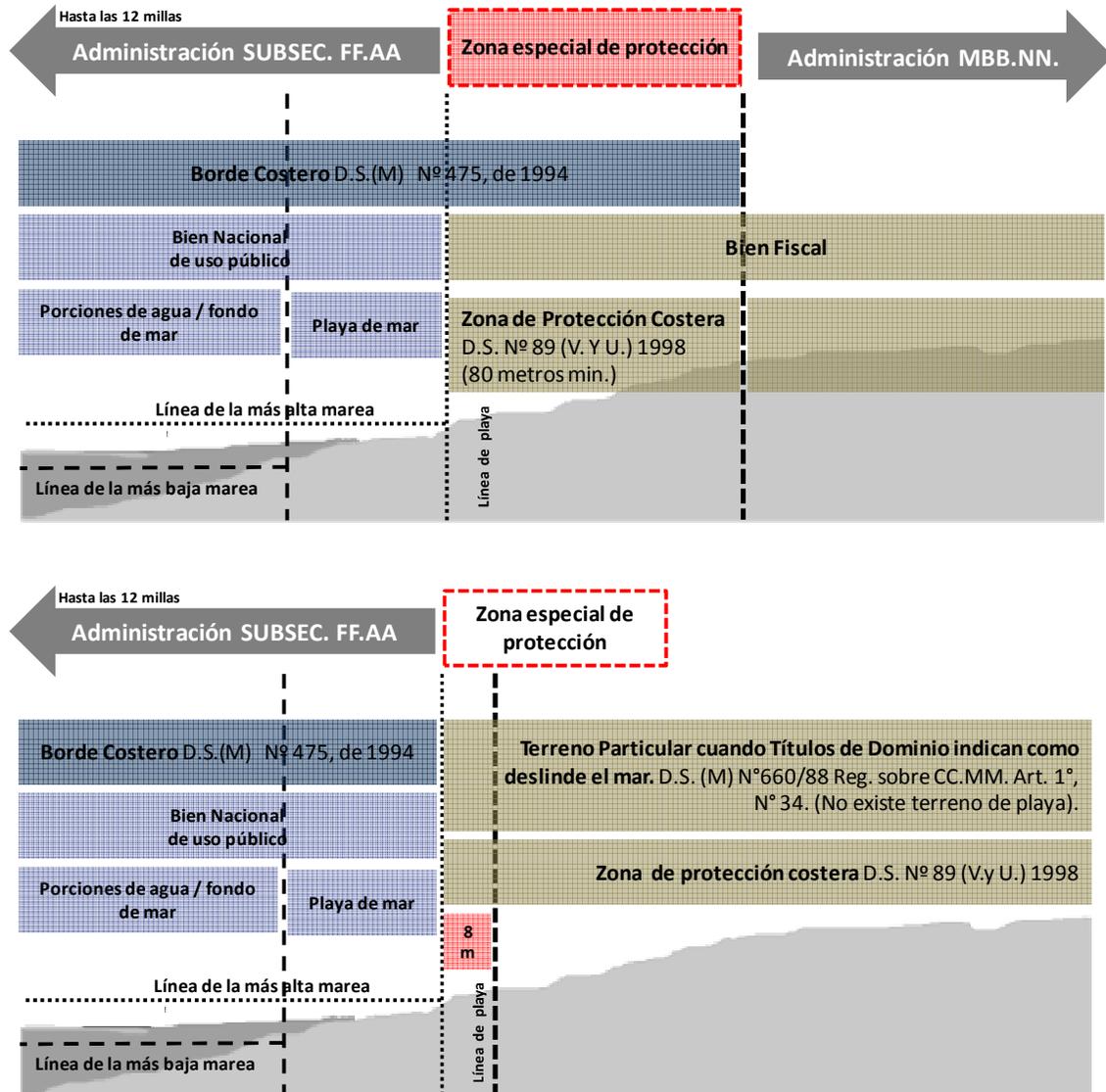


Figura 38. Esquemas de zonificación de administración de borde costero.

Fuente: Elaboración propia en base a Subsecretaría FF.AA.

3.2.5 RECOMENDACIONES RESPECTO A OTRO TIPO DE INSTRUMENTOS.

Planificación en zonas para privados

Respecto al desarrollo de las zonas de riesgo, se ha planteado con anterioridad que los instrumentos de planificación territorial, podrán generar restricciones y condicionamientos para los usos de suelo de esas zonas. Con el objeto de permitir que actividades productivas, servicios y residencia pueda emplazarse en estas zonas, se propone adoptar la creación de mapas de inundación para tasas de seguros (MITS).

Estos mapas denominados Flood Insurance Rate Map (FIRM) han sido implementados por la Federal Emergency Management Agency (FEMA) y se constituyen en los mapas oficiales en que FEMA ha delineado en ellos las zonas especiales de riesgo y las primas aplicables a los seguros que puedan ser adquiridos por los particulares (ver Figura 39).

Estos mapas permiten generar las bases para una adquisición transparente e informada de seguros en zonas declaradas riesgosas. Tanto los ciudadanos privados como las empresas aseguradoras pueden recurrir a un documento oficial para determinar si una propiedad se encuentra o no en una zona de riesgo.

Las autoridades locales pueden utilizar el mapa para administrar los reglamentos de gestión de inundaciones y mitigar los daños producidos por éstas.

Las instituciones de crédito y los organismos del Estado pueden utilizar los mapas para localizar propiedades y edificios en relación con los riesgos de inundación asignados, y para determinar si el seguro de inundación es necesario para complementar la adquisición de créditos inmobiliarios o de inversión.

Visto lo anterior, debe indicarse que el sistema de seguros para zonas de riesgos tiene una baja participación a nivel mundial e incluso en Estados Unidos. El sistema aún debe madurar, ya que los asegurados no siempre pueden pagar las pólizas para los peores escenarios. En la experiencia americana el sistema regulatorio es aún muy complejo y no facilita los aportes en los casos de baja frecuencia.

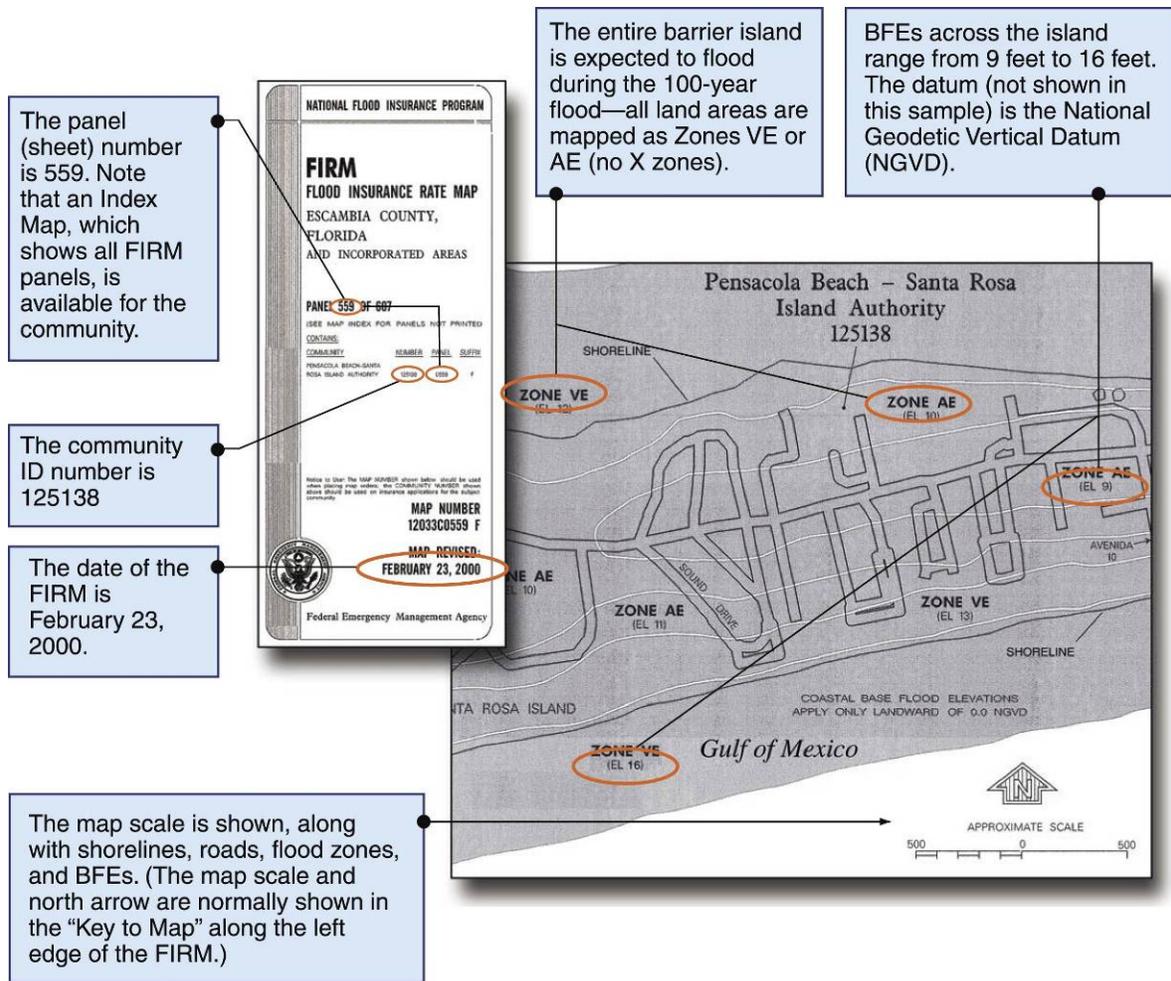


Figura 39. Facsímil de FIRM de Florida, USA.

Fuente: FEMA Federal Emergency Management Agency

Para aquellos casos en que las construcciones se encuentren localizadas en predios fiscales y sean parte de una concesión se recomienda evaluar alternativas en que el Estado garantice las pólizas de seguro que los concesionarios deben tomar. Este sería el caso de las concesiones otorgadas en los bordes costeros por el Ministerio de Defensa a través de la Subsecretaría para las fuerzas armadas.

Este modelo podría tener alto impacto en especial en aquellas localidades que tienen alta dependencia de las actividades económicas desarrolladas en las playas y caletas pesqueras. Esto permitiría que estas actividades pudieran desarrollarse en aquellas zonas asumiendo pólizas de seguros.

3.3 RECOMENDACIONES DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

Considerando que la mitigación de los efectos de desastres naturales puede expresarse en una amplia gama de medidas, que van desde la implementación de Planes de Emergencia hasta la modificación de los Instrumentos de Planificación Territorial, este capítulo se centrará en aquellas medidas de orden físico que no han sido desarrolladas en los otros capítulos. Estas medidas u obras de mitigación abarcarán las medidas Estructurales más adecuadas para las distintas amenazas estudiadas y las medidas No Estructurales que no han sido desarrolladas en otros capítulos.

De acuerdo a lo anterior el presente capítulo se desarrolla en apartados por cada amenaza incluida dentro del estudio; Tsunamis, Inundaciones Fluviales, Remoción en Masa, Licuefacción y Amplitud Sísmica, y busca sintetizar la información disponible y bibliografía existente para establecer los criterios generales que luego servirán de base para las recomendaciones específicas por cada localidad.

3.3.1 TSUNAMIS

Las siguientes recomendaciones con respecto a obras físicas de mitigación corresponde a las principales soluciones estudiadas e implementadas en países afectados por el fenómeno geofísico de Tsunami, algunos de los cuales comparten características similares a la de Chile tanto en el impacto que causa el fenómeno como en soluciones posibles de implementar. Países como Japón, China, Indonesia y Filipinas entre otros han desarrollado variados estudios con el fin de disminuir los efectos devastadores que este fenómeno ha causado en sus costas.

Antes de detallar las distintas alternativas de obras de mitigación para tsunamis es importante recordar la dimensión que alcanza este fenómeno natural en Chile desde el punto de vista del período de retorno según magnitud.

PERÍODO RETORNO DE TSUNAMI (ÚLTIMOS 175 AÑOS)					
MAGNITUD m Ts	ALTURA DE OLA	CHILE		ÁREA DE ESTUDIO	
		EVENTOS	RETORNO	EVENTOS	RETORNO
0 o mayor	1 -2	44	4	8	22
1 o mayor	2 -5	12	15	6	29
2 o mayor	5 -10	9	19	2	88
3 o mayor	10 -20	6	29	1	175
4 o mayor	> 20	4	44	0	N/A

Tabla 94. Períodos de Retorno de Tsunamis en Chile y en el área de estudio desde 1835

Fuente: Elaboración propia OCUC-IEUT, a partir de datos NGDC, 2010

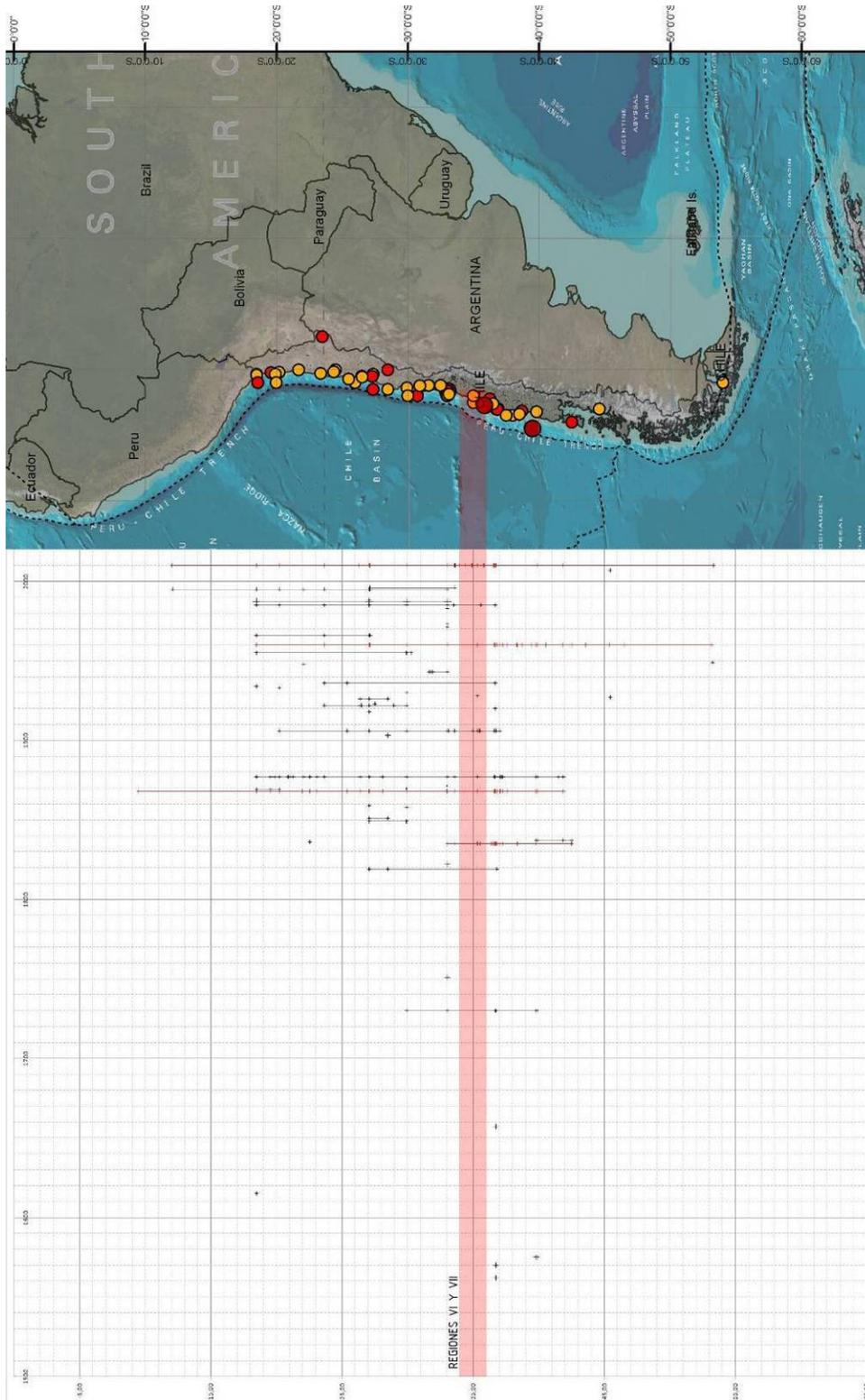


Figura 40. Período de retorno y extensión de runups de Tsunamis en Chile desde 1835

Fuente: Elaboración propia OCUC-IEUT, a partir de datos NGDC, 2010

De acuerdo a los registros históricos presentados en la etapa de diagnóstico, tal como se muestra en la Tabla 94 y la Figura 40, podemos establecer que en los últimos 175 años se han producido a nivel nacional tsunamis con olas de hasta 5 metros cada 15 años, con olas de hasta 10 metros cada 19 años, con olas de hasta 20 metros cada 29 años y con olas sobre 20 metros cada 44 años. Considerando solamente el área de estudio, las regiones del Maule y O'Higgins, tsunamis con altura de ola de hasta 5 metros se produjeron cada 29 años y de hasta 10 metros cada 88 años.

Paralelamente a estas características que presentan los tsunamis en Chile, hay que tener en cuenta la gran diferencia en los aspectos geofísicos, el desarrollo social y económico que poseen las regiones analizadas en relación a Chile, los cuales han condicionado tanto el nivel de devastación de este tipo de fenómeno como las capacidades locales de desarrollo de medidas de mitigaciones.

Esto será fundamental a la hora de la toma de decisiones respecto a las alternativas a implementar, considerando que a mayor magnitud de tsunami será mayor el periodo de retorno y que las obras de mitigación respectivas aumentarán en sus costos. Es importante que la decisión final respecto al tema sea fundamentada en estudios especiales que incorporen modelaciones de las alternativas en las cuales se pueda evaluar el beneficio que ellas reporten versus su costo de implementación.

El presente análisis presenta una búsqueda de múltiples soluciones que son por lo general complementarias entre ellas. Es posible encontrar dos conjuntos de soluciones para la protección de costas; la primera relacionada con la utilización de estructuras artificiales la segunda con estructuras naturales.

3.3.1.1 Estructuras Artificiales: Infraestructuras De Mitigación.

La mitigación a través de estructuras artificiales corresponde a la implementación planificada de distintos tipos de infraestructura en las costas amenazadas por Tsunamis, las cuales actúan en forma singular o conjunta con otro tipo de mitigaciones, en la disminución de la energía, inundación, altura e impacto de la ola en las zonas afectadas. Este tipo de medidas tiene un costo más elevado en relación con las estructuras naturales y ha sido implementada mayormente en países de más desarrollo económico como Japón, que luego de desastres como el tsunami provocado por el terremoto de Chile de 1960, se ha enfocado en el desarrollo de este tipo de infraestructura costera. Se puede encontrar una gran variedad de soluciones, adaptables a las distintas situaciones costeras en que han sido aplicadas, como por ejemplo las siguientes:

Muros de defensa

Corresponde a construcciones no habitables, verticales generalmente de hormigón armado, de diferentes alturas, espesores y largos, los cuales se encuentran ubicados en el terreno adyacente al mar. Algunos de estos muros corresponden a construcciones complementarias a las costaneras. Estos actúan disminuyendo la energía, inundación, altura e impacto de la ola en las zonas afectadas en un cierto porcentaje dependiendo de la característica tanto del muro como de la ola de tsunami. Algunos ejemplos de muros son los de las localidades de Taro en la ciudad de Miyako y Hiro en la ciudad de Hirokawa, en Japón.



Figura 41. Muro de defensa costera contra tsunami en Taro

Fuente: The impact of tsunami in coastal areas. J. K. Patterson, Terazaki and Yamaguchi

Si bien existen registros antiguos sobre este tipo de estructuras como medida de mitigación, es a partir de los efectos del terremoto de Valdivia en 1960 en Hawái y especialmente en Japón en que se inicia un estudio más sistemático al respecto. Es así como comienzan a desarrollarse estructuras de gran envergadura capaces de atenuar los efectos devastadores de tsunamis de magnitudes altas, estructuras que por lo general serán de hormigón armado, de gran impacto en el territorio y elevado costo asociado.

Un ejemplo más adecuado al contexto local puede ser la implementación mixta de un sistema de muro de defensa con otras obras de mitigación como bosques o dunas, que de forma complementaria podrían mitigar tsunamis de distinta magnitud disminuyendo los costos.

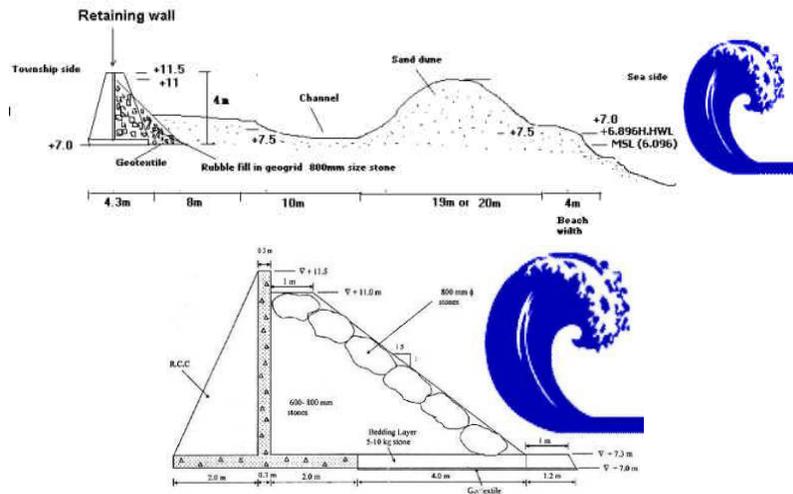


Figura 42. Muro de defensa costera contra tsunami

Fuente: tsunami resistant wall for Kalpakkam. http://aarco.co.in/tsunami_wall.htm

Muros de defensa en costaneras y equipamiento.

Una variación de lo anterior corresponde a muros de defensa complementarios a costaneras vehiculares o eventualmente peatonales. Dadas las características particulares de las distintas localidades del área de estudio, se presenta como una alternativa de mayor viabilidad por su multifuncionalidad con el aumento de las posibles fuentes de financiamiento que eso implicaría.

El recorrido por la zona a una semana de ocurrido el tsunami del 27 de febrero, muestra la efectividad de este tipo de estructura. Así es el caso de la caleta de Pellines, donde se aprecia cómo un muro-zócalo de 3 metros de altura protegió las edificaciones en primera línea, siendo arrasadas aquellas que se ubicaban de la boca del estero hacia el interior sin este tipo de defensa.



Figura 43. Fotografía de muro de contención de caleta de Pellines.

Fuente: Fotografía equipo OCUC. 15-03-2010

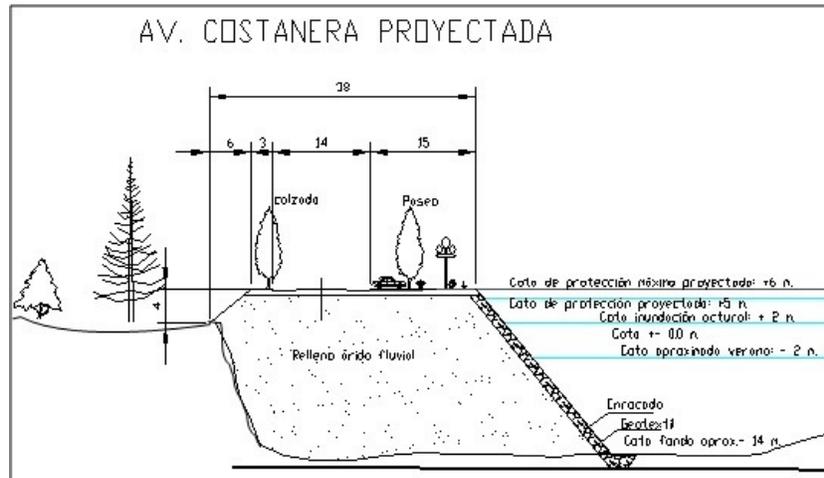


Figura 44. Pretil y Costanera para en Constitución.

Fuente: Estudio Plano Regulador Comunal de Constitución. INFRACON

Terraplenes:

Corresponde a construcciones no habitables, verticales, generalmente de hormigón armado ubicados en terrenos secos, no cercanos al mar. Algunos de estos muros corresponden a nivelación de terreno. Éstos actúan disminuyendo la energía, inundación, altura e impacto de la

ola en las zonas afectadas en un cierto porcentaje dependiendo de la característica tanto del muro como de la ola de tsunami. Un ejemplo es el construido en Noda, Iwate, Japón:



Figura 45. Terraplén en Noda, Iwate, Japón.

Fuente: Public Works Research Institute.

Rompeolas de boca de bahía

Corresponde a construcciones no habitables generalmente de hormigón armado ubicados en la boca de una bahía, alejados de tierra. Tienen como función disminuir la energía, inundación, altura de la ola antes de que llegue a tierra. Ejemplos de rompeolas son los de las ciudades de Kuji, de Ohfunato y de Kamaishi, en Japón.



Figura 46. Rompeolas en la ciudad de Kuji, ciudad de Ohfunato, ciudad de Kamaishi.

Fuente: Public Works Research Institute.

Compuertas de mar y ríos

Corresponden a construcciones con elementos compuestos mecánicos móviles, los cuales se encuentran ubicados dentro del mar o en ríos. En el primer caso estas se cierran en el momento de aumento de marea, lo que reduce la intrusión de la ola de tsunami. En el caso de los ríos, éstas se cierran para disminuir la intrusión de la ola de tsunami tierra adentro por el río.



Figura 47. Compuerta de mar en la bahía de Karo, Japón.

Fuente: Public Works Research Institute.

Compuertas de tsunami en tierra

Corresponde a construcciones verticales (muros) no habitables generalmente de hormigón armado ubicados en tierra, con compuertas de acero que permiten el paso de peatones y vehículos en circunstancias normales y que en caso de tsunami se cierran para impedir el paso de la ola o disminuir la energía, inundación, altura de la ola antes de que llegue al pueblo que se encuentra posterior a ellas.



Figura 48. Compuerta de mitigación para Tsunami en la ciudad de Miyako y Hiro, Japón.

Fuente: Public Works Research Institute.

3.3.1.2 Estructuras Naturales: Parques De Mitigación

La mitigación a través de estructuras naturales corresponde a la implementación planificada de distintos elementos naturales en las costas amenazadas por Tsunamis, los cuales actúan en forma conjunta en la disminución de la energía, inundación, altura e impacto de la ola en las zonas afectadas. Este tipo de estructuras reconsideradas recientemente como posibles alternativas solas o en conjunto con elementos artificiales, corresponden entre otros a bosques costeros, manglares, dunas y manejo de laderas. A diferencia de las estructuras artificiales, este tipo de soluciones tiene connotaciones de menor impacto ambiental y a la vez son menos costosas económicamente, esto principalmente enfocado en países menos desarrollados, siendo recomendable su utilización en Chile junto a otras medidas complementarias. Dentro del grupo de las estructuras naturales existen dos subconjuntos, las relacionadas con vegetación, llamadas cinturones verdes y las compuestas por elementos de procedencia rocosa.

Dunas de arena

Históricamente las dunas han servido como mitigación natural tanto para tsunamis como inundaciones en general. Un caso representativo de esto es Holanda donde desde hace más de siete siglos el territorio reclamado al mar ha sido protegido por una línea de dunas costeras que evitan la erosión por medio de un sistema de vegetación especial. Las dunas son definidas como montes de arena construidos por un proceso eólico, en el que obstáculos atrapan partículas

arrastradas y comienzan su acumulación. Estudios señalan que las dunas actúan como mitigación de vientos, en tormentas y contra la inundación de tsunamis.

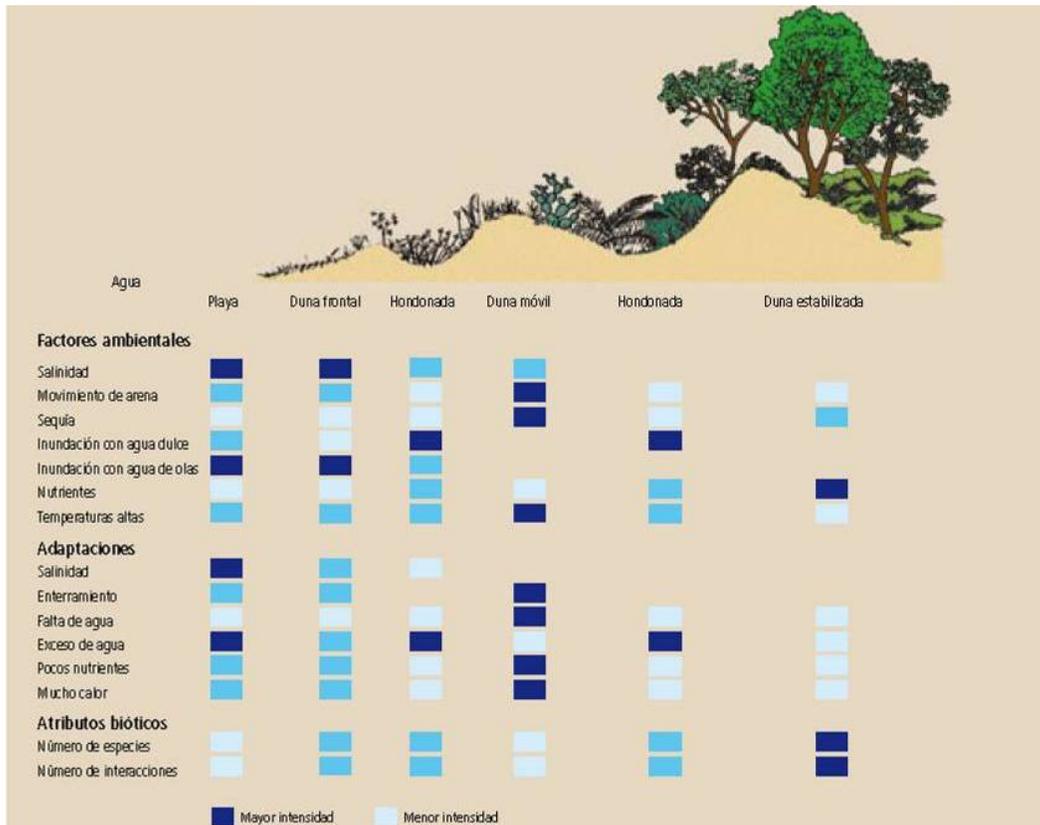


Figura 49. Clasificación de dunas y sus características.

Fuente: Dunas Costeras. María Luisa Martínez

Los expertos coinciden en la necesidad de proteger, restaurar y conservar las dunas costeras como elemento mitigador a través de las siguientes recomendaciones (Martínez 2008):

- No estabilizar ni cubrir de vegetación de manera artificial; ni con especies foráneas.
- Promover los sistemas dinámicos.
- Recuperar la cadena trófica.
- Adoptar políticas de gestión integrales.
- Establecer una zonificación, regional y local de la actividad humana.

- Promover la participación de todos los agentes implicados: autoridades, científicos, población local y usuarios actuales y potenciales.
- Generar estrategias internacionales y a largo plazo.
- Desarrollar legislaciones adecuadas, sobre todo en los países tropicales.

En relación a la mitigación de tsunamis se pueden observar casos como el tsunami de diciembre de 2004 en el océano Índico donde muchos pueblos costeros fueron protegidos por dunas. Estudios posteriores mostraron cómo pueblos cercanos a la costa fueron protegidos de la inundación por dunas de arena de entre 5 a 15 metros, las cuales redujeron su tamaño hasta en un 40 %.

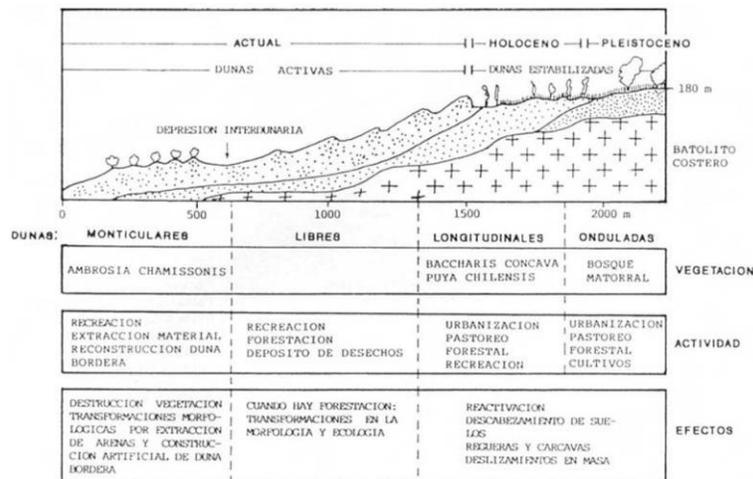


Figura 50. Estructura de dunas en Chile.

Fuente: Consuelo Castro. Dunas chilenas y su estado de conservación. 1992

La efectividad de las dunas como medida de mitigación también quedó de manifiesto con el tsunami del 27 de febrero, aunque en la ocasión resultó en una mitigación parcial que igualmente resultó dañando seriamente la localidad de Iloca. Cruzando el estero hacia el sur una población de aproximadamente 100 casas que estaban ubicadas entre la carretera costera y el mar, se emplazaban tras una línea de dunas de unos 7 metros de altura (ver Figura 51). Éstas evitaron la llegada del tsunami de forma frontal, pero no impidieron que el agua entrara por el norte a través de la boca del estero, arrasando con toda la población de viviendas.



Figura 51. Efecto de dunas costeras en Iloca.

Fuente: Elaboración propia OCUC-IEUT. Fotografía equipo OCUC 15-03-2010

Vegetación: árboles y bosques costeros

Los llamados cinturones verdes costeros están compuestos por distintas especies de árboles dependiendo la región donde se encuentre. Por ejemplo en Japón se utilizan pinos, especie que se encuentra en Chile, para utilizarlo como protección contra tsunamis para construcciones. Existen diferentes razones por las cuales los bosques costeros reducen el impacto de un tsunami:



Figura 52. Bosque costero de mitigación de Tsunamis

Fuente: The impact of tsunami in coastal areas. J. K. Patterson, Terazaki and Yamaguchi

- Detiene los restos de madera y otros elementos flotantes.

- Reducen la velocidad del flujo de agua y la profundidad de la inundación.
- Provee de un lugar de salvación para la gente que es arrastrada por la ola.
- Contiene los vientos con arena creando dunas, que sirven como barreras contra tsunamis.

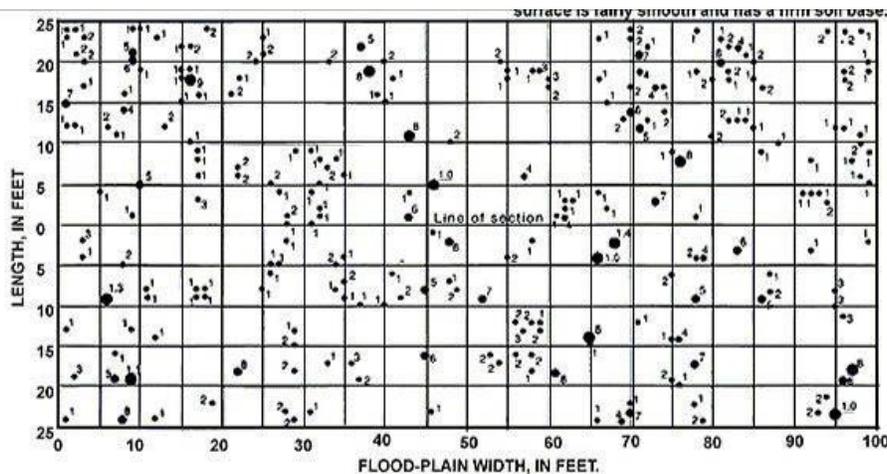


Figura 53. Esquema de un bosque de mitigación de tsunamis

Fuente: USGS, United States Geological Survey

Es preciso aclarar que la protección del cinturón de árboles contra los tsunamis obedece a variables de las características de tsunami, árboles y la planificación de estos en el territorio. Existen ciertos casos que si las variables nos son consideradas puede crear más daño que protección, debido a que se produce un desprendimiento de los troncos los cuales se juntan con el resto de los desperdicios aumentando la fuerza destructiva. Según investigaciones dentro de

estas variables la altura de los tsunamis afecta de forma directa la funcionalidad de este tipo de mitigación, debido a que si la ola excede entre los 6 a 10 mt los árboles no logran resistir el impacto. La variación de la altura depende del tipo de árbol, la densidad del bosque y del ancho de este. Con respecto al tipo de árbol la principal característica estudiada la relación matemática planteada entre altura de ola (H) y diámetro de árbol (d) es la siguiente $d=0.1H^3$, la cual permite determinar la resistencia a la altura de la ola dependiendo del diámetro. Algunas de las relaciones de diámetros estudiadas sobre la efectividad en mitigación para bosques costeros Japoneses, aplicables a bosques de similares características, son que para una ola de 4,65 mt se necesita un diámetro de 10 cm, para una ola de 7 mt se necesita un diámetro de 34,3 cm y para una ola de 10 mt se necesita un diámetro de 100 cm. Con respecto a la conformación de los bosques, en relación a su ancho, incidentes en la efectividad de la mitigación, también estudiada para los bosques costeros Japoneses, se pueden extraer las siguientes relaciones explicativas: para una ola de tsunami de 3 mt es necesario un ancho de bosque de 20 mt, para un alto de 6 mt se necesita un ancho de 100 mt. Para determinar otro tipo de relaciones es necesario nuevos cálculos relacionados con la resistencia hidráulica de los árboles.

Para entender la capacidad de los bosques para mitigar los efectos de un tsunami, se desarrollan modelos de dinámica de fluido. Estos modelos examinan la relación hidrodinámica del movimiento de fluido a través de la vegetación, el cual requiere de varios parámetros, asociados a coeficiente para estimar la resistencia a tsunamis de diferentes alturas y presiones. Estas modelaciones dan como resultado números de suma importancia para entender la capacidad de mitigación, dentro de los cuales se puede encontrar el volumen de ocupación, el coeficiente de arrastre, el coeficiente de inercia y el manejo del coeficiente de rugosidad.

H= Altura Ola
d= Diametro arbol
A= Ancho bosque

Relacion Diametro-Altura **$d=0.1H^3$**

Altura Ola (mt)	Diametro (cm)	Ancho bosque(mt)
3		20
4,65	10 cm	
6		100
7	34,3 cm	
10	100 cm	

Tabla 95: Resumen Estudios Eficiencia de Mitigación de Tsunamis Bosques Costeros

Fuente: Braatz, Susan. Fortuna, Serena. Broadhead, Jeremy. Leslie, Robin. (2006).

Es preciso recalcar para la tabla resumen de eficiencia de mitigación, los ejemplos fueron desarrollados con bosques de pino costero en Japón.

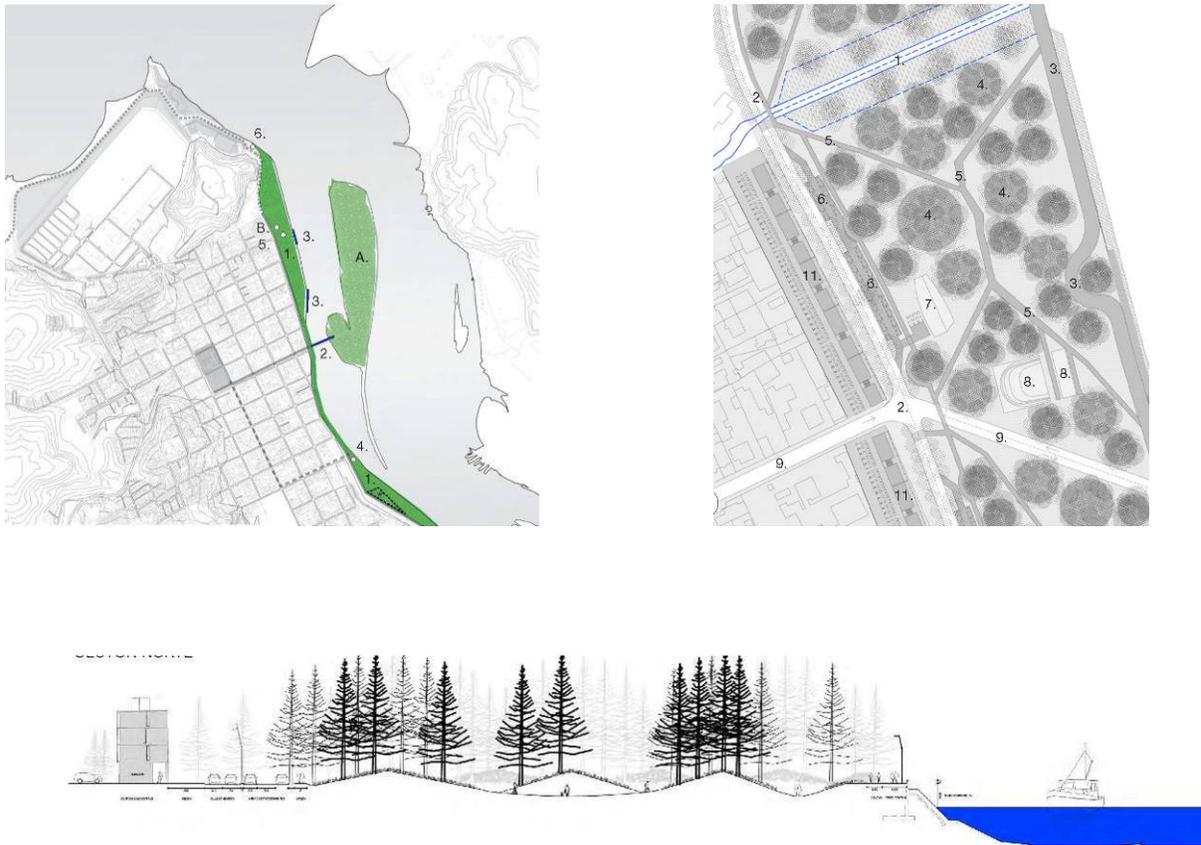


Figura 54. Parque fluvial de mitigación de tsunamis para Constitución.

Fuente: PRES Constitución. Elemental

Manglares

Los manglares son terrenos en las zonas tropicales cubiertos de agua salada donde crecen una variada familia de árboles tolerantes a la sal, los cuales ocupan zonas cercanas a cursos de agua dulce. Luego del tsunami que golpeo la costa asiática en 2004 se le puso mayor atención a este tipo de ecosistema de bosque costero, ya que se confirmaron los estudios sobre la mitigación que producen en las zonas que tienen mayor presencia.



Figura 55. Mitigación de Tsunamis por manglares

Fuente: A report by the Environmental Justice Foundation.

La mitigación en los efectos de los tsunamis de los cinturones verdes de manglares, es similar en características a los expuestos anteriormente en los bosques costeros, dejando en claro que la efectividad manejada es distinta. Se destaca en estudios la reducción de la velocidad de flujo y de la profundidad de inundación, y la detención de madera flotante y otros desperdicios.

Si bien los manglares se desarrollan en climas tropicales, limitando su utilización en el contexto local, los estudios realizados en relación a este tipo de mitigación natural podrían ser aplicados a través de la experimentación con especies propias de la zona. La posibilidad de incorporar de forma controlada especies locales de estructura similar a la de los manglares, especialmente en las riberas de los distintos cauces del área de estudio colaboraría en uno de los puntos de mayor daño causado.

Al igual que en el caso de los bosques de mitigación se deben hacer los estudios específicos al respecto que por un lado reflejen el nivel de mitigación para las distintas magnitudes de tsunami, y que a la vez garanticen la necesaria infiltración y escurrimiento de las aguas en los cauces en caso de crecidas de forma de evitar posibles inundaciones fluviales.

3.3.2 INUNDACIONES FLUVIALES

Las inundaciones en ríos son eventos naturales que han ocurrido anteriormente en la zona de estudio, como se reportó en los antecedentes para varias localidades de la VI y VII regiones, como Las Brisas, Pupuya, Cahuil, Boyeruca, Llico, Constitución y Pelluhue, entre otras. Con la excepción de las inundaciones provocadas por rompimientos de presas o derrumbes de terreno, las inundaciones fluviales son consecuencia de procesos climatológicos asociados a la precipitación o deshielos, e influenciados por la geología, la morfología, el suelo y la vegetación de la cuenca (UN/ECE, 2000). Éstas consisten en un aumento del nivel de agua en el cauce en un periodo de tiempo corto, provocando el desborde y la inundación de zonas antes secas, trayendo consigo efectos como erosión, destrucción de infraestructura y la pérdida de vidas humanas, entre otros.

Debido a su carácter natural, no es posible garantizar la prevención de grandes inundaciones, pero sí es posible limitar o disminuir el daño potencial asociado a una inundación si se cuenta con estrategias y planes de acción adecuados. En términos generales, para la prevención, protección y mitigación de inundaciones, se debe considerar una buena combinación de medidas estructurales, medidas no estructurales (preventivas) y medidas operativas durante la inundación, dependiendo de la magnitud de las crecidas esperadas en cada zona y el daño que se pretende evitar (Water Directors, 2004).

Las medidas no estructurales tienden a ser más eficientes y sustentables en el largo plazo para solucionar problemas de inundación, por lo que deben ser potenciadas, en particular para reducir la vulnerabilidad de los seres humanos y bienes expuestos a riesgo de inundación (Water Directors, 2004). Por otra parte, las medidas estructurales siguen siendo elementos importantes y deben enfocarse en la protección y seguridad de las personas, de bienes valiosos y de las propiedades (UN/ECE, 2000).

Para poder determinar las acciones a tomar frente a este tipo de problemas se recomienda como primera medida realizar los estudios de diagnóstico correspondientes, para luego tomar acciones según las posibilidades socioeconómicas y los resultados del estudio:

- Delimitar zonas inundables.
- Determinar causas de inundaciones.
- Realizar estudios geológicos, geotécnicos, socioeconómicos, ambientales e hidrológicos.
- Realizar estudios económicos para la cuantificación de los perjuicios pasados y futuros.
- Realizar estudios geomorfológicos y de hidráulica fluvial.
- Diseñar la obra de mitigación y estimar los costos, para evaluar el tipo de acción a tomar.

A continuación se recomiendan algunas medidas y estrategias básicas para la prevención y protección frente a inundaciones con el fin de reducir el daño potencial asociado. Es importante señalar que la aplicación de estas medidas, así como también el diseño y construcción de obras hidráulicas necesarias, debe ser realizada por ingenieros especialistas con conocimiento y experiencia en el tema. Las medidas propuestas en este trabajo se presentan de forma general como alternativas que deberán posteriormente decidirse en detalle de acuerdo a la particularidad de cada problema a resolver, y con la información apropiada para el análisis y diseño.

3.3.2.1 Medidas No Estructurales

Las medidas no estructurales buscan reducir o modificar el daño potencial de las crecidas en el largo plazo mediante cambios en la legislación, en los procesos, en la educación y en el comportamiento de las personas. Las medidas no estructurales son sustentables, reversibles, comúnmente aceptadas y amigables con el medio ambiente (Kundzewicz, 2002). Además son medidas fáciles de implementar en etapas iniciales de proyectos residenciales, como podría ser el caso del proceso de reconstrucción. En esta sección se presentan algunas medidas no estructurales básicas para el control de inundaciones que han demostrado efectividad en situaciones similares a las que presentan las localidades estudiadas en la VI y VII regiones.

Manejo integrado de cuencas

El manejo integrado de la cuenca involucra el uso y conservación del suelo con el objetivo de minimizar el flujo superficial, disminuir la erosión y el transporte de sedimentos. En general este manejo apunta a replicar las condiciones naturales y los procesos físicos, biológicos y químicos existentes en la zona. Se deben considerar medidas que favorezcan la infiltración del suelo, reduzcan las áreas impermeables efectivas y promuevan el almacenamiento natural de agua en lagunas o estanques de almacenamiento artificiales, con el fin de disminuir los volúmenes, caudales, sedimentos y contaminantes para crecidas de periodos de retorno similares. Al aumentar la retención de agua, se disminuye el caudal máximo de la crecida y se retrasa el tiempo en alcanzarlo (Kundzewicz, 2002).

La capacidad de almacenamiento del suelo, de la vegetación y de los humedales tiene un importante efecto en la mitigación de pequeñas y medianas inundaciones (Water Directors, 2004). La retención de agua en un medio natural favorece la disminución del nivel de agua en los cauces aguas abajo lo que puede no tener un gran impacto en grandes crecidas, pero sí es muy beneficioso cuando se quiere reducir la producción de sedimentos. La forestación y creación de áreas verdes aumenta el almacenamiento, disminuye la erosión y controla los sedimentos y contaminantes, teniendo un efecto significativo en el mediano y largo plazo, además de servir como áreas de recreación y de mejorar el paisaje.

Esta medida consiste en realizar acciones como las siguientes:

- Conservar, proteger y restaurar la vegetación en la cuenca del río, en los humedales y en las zonas inundables.
- Descargar el exceso de agua hacia áreas de retención de manera controlada.
- Asegurar un uso del suelo apropiado para inundaciones y erosión. Promover la conservación del suelo evitando la compactación excesiva y erosión.
- Limitar la impermeabilización excesiva del suelo. Controlar la urbanización y desconectar áreas impermeables.
- Mantener la limpieza de las cuencas, evitar arrastre de contaminantes y sedimentos.

Uso limitado del suelo

Las inundaciones sólo conllevan un riesgo cuando ocurren sobre áreas utilizadas por humanos. De hecho, se puede decir que en la naturaleza no hay daño por inundaciones (LAWA, 1995). Mientras más utilizada esté la zona inundable, mayor es el daño potencial asociado (Water Directors, 2004). Basado en experiencias internacionales, como las recomendaciones desarrolladas por la *International Commission for the Protection of the Rhin* (ICPR, 2002), la mejor manera de disminuir el daño potencial es limitar el desarrollo en las zonas de amenaza de inundación. Para ello se deben realizar restricciones legales de uso y relacionarlas con el riesgo de daño potencial.

Antes de establecer las limitaciones del suelo se debe considerar:

- Detener el desarrollo y construcción en las áreas inmediatas con amenaza de inundación. Excepciones deben restringirse sólo a aquellos usos estrictamente necesarios. El uso de la zona de riesgo debe adaptarse para minimizar el daño potencial.
- No ubicar los servicios básicos ni instalaciones como hospitales, bomberos y de policía ni aquellas zonas cuya eventual inundación pone en riesgo las vidas humanas en las zonas de amenaza. Éstas deben localizarse en la zona más cercana sin amenaza de inundación.
- Identificar y reducir la vulnerabilidad de las industrias y viviendas que ya se encuentran en las zonas de amenaza mediante el análisis acabado de riesgos y pérdidas económicas, con el fin de evaluar el efecto del aumento del nivel de agua y luego proponer medidas para reducir el daño y planes de emergencia.

- Construir a prueba de agua. Las construcciones existentes y en riesgo, deben hacerse compatibles con las posibles inundaciones. Estructuras elevadas, ubicación cuidadosa de los enseres más vulnerables, utilización de materiales a prueba de agua, son algunas medidas para disminuir el daño potencial de inundación. Especial cuidado se debe tener con los servicios básicos (agua, luz, alcantarillado) y con las vías de evacuación.
- Proteger la red de drenaje natural, estableciendo restricciones que no permitan urbanizar en ella o realizar modificaciones que provoquen inundaciones en otros sectores.

Como parte de estas medidas se pueden también definir zonas con diferentes niveles de prohibición de uso de acuerdo a la probabilidad de inundación, por ejemplo, la zona inundable puede dividirse en:

- Zona de Prohibición: zonas de cauces, inundables con crecidas menores de 2-10 años. En esta zona sólo se puede construir infraestructura de navegación, bocatomas y obras de drenaje.
- Zona de Restricción: bancos laterales, inundables con crecidas medianas de 20-100 años. En esta zona sólo se puede construir infraestructura menor no crítica, a prueba de agua, o destinada a actividades de recreación.
- Zona de Advertencia: sectores bajos, inundables con crecidas superiores a la crecida de 100 años. En esta zona generalmente no se prohíbe la construcción de infraestructura pero se advierte a los usuarios de los potenciales riesgos. Se mantiene a la población informada respecto a posibles eventos de crecida y se dispone de vías de evacuación de fácil uso.

Estas zonas debiesen estar correctamente delimitadas y demarcadas, con el fin de que la población reconozca el riesgo asociado a cada zona.

Sistemas de alerta y pronóstico

La existencia de crecidas e inundaciones hace necesaria la existencia de un sistema de alerta temprana y sistema de pronóstico (Water Directors, 2004). Un pronóstico y una alerta temprana y confiables son la base de una buena preparación para la inundación (ICPR, 2002). Dependiendo de la ubicación en la cuenca y del origen de la crecida, el tiempo disponible de alerta puede variar, para crecidas rápidas y en zonas de alta montaña sólo se dispone de pocos minutos, en cambio en las zonas más planas y desembocaduras, se dispone de varias horas e incluso días para realizar un buen pronóstico y la posterior alerta (ICPR, 2002; Kundzewicz, 2002).

El pronóstico puede basarse en modelos matemáticos que permiten predecir el flujo a partir de información pasada (precipitaciones, humedad, cobertura de nieve, etc.), con lo que se pueden calcular alturas de agua y posibles áreas inundables. Los pronósticos obtenidos deben traducirse en alertas confiables, ampliamente diseminadas a la comunidad en riesgo con objeto de que ellos puedan tomar las medidas necesarias para reducir los daños potenciales (Kundzewicz, 2002). La alerta puede entregarse a través de la radio local, vehículos con altavoces, mensajes a teléfonos móviles, sirenas, internet, etc.

Crear conciencia en la población

La responsabilidad final para enfrentar una crecida es de cada habitante de un área de posible inundación, quien debe adaptarse y estar preparado frente a las posibles amenazas. Por lo tanto, todos estos habitantes deben conocer los potenciales riesgos de inundación y cómo actuar frente a una situación de emergencia. Para tal propósito se deben elaborar planes de comunicación que permitan a la población conocer las amenazas y entender el fenómeno de inundación. El plan debe asegurar que la información sobre prevención y protección de inundaciones sea de fácil acceso y fácil de comprender, lo que puede lograrse mediante:

- Señales de advertencia y mapas de peligro ubicados en las zonas inundables.
- Información de alto impacto que busque mantener viva la conciencia de que una inundación puede ocurrir. Por ejemplo, marcas de anteriores inundaciones recuerdan constantemente a la población del peligro.
- Educación de la población de modo que hay una necesidad de restringir o adaptar el uso de zonas inundables, con el fin de reducir el daño potencial.
- Interacción de la población con las autoridades, y participación en la toma de decisiones y desarrollo de planes de prevención y emergencia.
- Promoción de medidas de prevención y protección a ser tomadas por la propia población. Guías prácticas de cómo protegerse y cómo actuar frente a una emergencia deben ser publicadas y distribuidas.
- Información sobre planes de prevención y protección frente a inundaciones de fácil acceso y comprensión por parte del público.

Plan de emergencia

Los planes locales y regionales de contingencia para responder a eventos de inundación deben estar apropiadamente preparados y actualizados en todos aquellos lugares en que pueda ocurrir una inundación, con el objetivo de incrementar la capacidad de respuesta de la población (Water Directors, 2004). Estos planes deben cubrir el manejo de la crisis antes, durante y después del evento de inundación. Debe establecer la estructura organizacional y las responsabilidades ante el desastre, definir los medios y recursos disponibles, y realizar un seguimiento del proceso completo de la catástrofe, de modo de obtener información para mejorar planes futuros.

Dentro del plan global de emergencia, al menos se debe considerar un plan de evacuación y desalojo, planes de relocalización, seguridad, alimentación y salud, y un plan de comunicación pública durante el evento.

3.3.2.2 Medidas estructurales o técnicas de protección de crecidas

Las medidas estructurales sirven tanto para modificar las características de la crecida como para proteger las riberas de los ríos y las zonas inundables de fenómenos como erosión, sedimentación y contaminación.

La aplicación de cualquier medida estructural debe ser cuidadosamente evaluada mediante estudios hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos, análisis de riesgo y evaluaciones económicas. Poulard et al. (2010) proponen tres principios para un manejo estructural sustentable de control de crecidas:

- Considerar todas las herramientas disponibles: Las medidas estructurales y no estructurales deben ser evaluadas simultáneamente mediante una política coordinada y de largo plazo.
- Establecer objetivos razonables y explícitos: El objetivo de la medida (reducción de caudal máximo, disminución de velocidad, disminución del daño global) debe ser definido cuidadosamente, tomando en cuenta restricciones como el estado actual del cauce, desarrollos futuros, etc.
- Tomar la decisión teniendo la mayor cantidad de información y evaluaciones económicas objetivas: El comportamiento, efecto y consecuencias globales de todas las medidas proyectadas debe ser estudiado. En este contexto, las evaluaciones económicas tomando en cuenta los daños evitados son una buena herramienta para objetivamente comparar diferentes soluciones.

Es importante enfatizar que en zonas urbanizadas o con desarrollos futuros proyectados se recomienda siempre el uso de técnicas de disposición local (conocidas también como técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias), como las recomendadas en la Guía de Diseño del MINVU (1996), las que permiten controlar en forma distribuida las crecidas urbanas a través de técnicas de infiltración y almacenamiento. Dichas técnicas constituyen herramientas de gran eficiencia y efectividad, que debiesen ser incluidas en los planes reguladores comunales.

A continuación se presentan algunas soluciones estructurales adecuadas a cauces ubicados en zonas de baja altura, las cuales se enfocan tanto en la reducción de las características hidrológicas de la crecida como en la protección de riberas.

Estanques de retención para el control de crecidas

Corresponden a estructuras de almacenamiento, generalmente sin control, diseñadas para disminuir el caudal máximo de la crecida y redistribuir el volumen escurrido en el tiempo (ASCE, 2008). Estas estructuras pueden también capturar sedimentos y desechos, lo que puede afectar su funcionamiento (ASCE, 2008), pero al mismo tiempo mejora la calidad del agua que pasa hacia zonas más bajas. Un mantenimiento periódico es suficiente para garantizar su buen funcionamiento.

Estos estanques requieren de espacios y volúmenes importantes y deben ubicarse en zonas que permitan interceptar la crecida (Figura 56). También es posible construirlos en zonas urbanas y residenciales a una menor escala, como se detalla en la Guía de Diseño de MINVU (1996). Entre crecidas, generalmente permanecen vacíos y sirven para recreación y/o paisajismo.



Figura 56: Esquema de protección con estanque de retención

Muros de contención y pequeños diques

Los muros de contención, contruidos en hormigón y los pequeños diques de tierra y rocas, generalmente se construyen paralelos al flujo con el fin de evitar que las aguas salgan del cauce y entren a la zona a proteger. La Figura 57 y la Figura 59 ilustran este tipo de obras.

El comportamiento hidráulico del río es clave en el diseño de estas estructuras, así como también ciertos efectos adversos, como la inundación de áreas adicionales no protegidas aguas arriba y/o aguas abajo de la estructura, el aumento del caudal máximo de la crecida, la inundación residual dentro del área protegida, etc. Consideraciones técnicas sobre el diseño de estas estructuras pueden encontrarse en manuales disponibles de acceso libre desarrollados en Estados Unidos por el U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 1994).

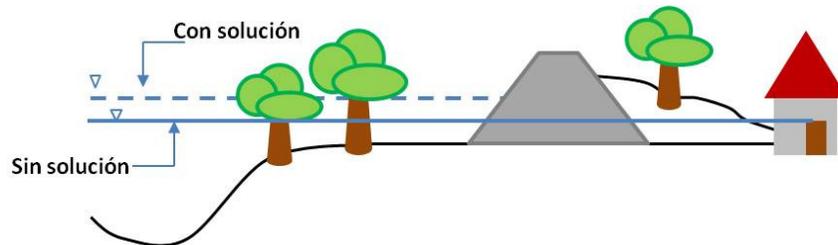


Figura 57: Esquema de protección con dique pequeño, diagrama no a escala.



Figura 58: Fotografía de protección con dique

Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Muro_de_Champas_2b.JPG

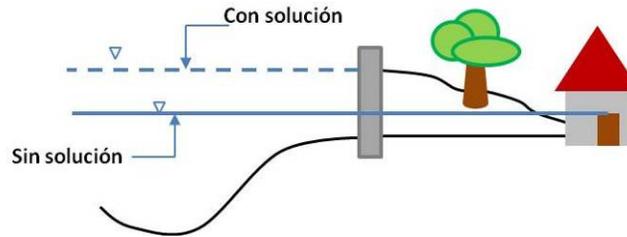


Figura 59: Esquema de protección con muro de contención, diagrama no a escala.

Protección de riberas contra la erosión

La protección de riberas consiste en restaurar y proteger las orillas o bordes de ríos contra la erosión, y mejorar su estabilidad mediante el aumento de la resistencia de la ribera a la erosión. Esto puede lograrse con sistemas de vegetación o estructurales de protección (USDA, 1996).

Al momento de escoger qué medida utilizar para proteger las riberas en peligro, se deben considerar aquellas medidas que sean auto-sustentables y que protegen o restauran las propiedades físicas, biológicas y químicas del río y de la ribera (USDA, 1996). A continuación se presentan algunas de estas medidas, adecuadas a las zonas a proteger. Una descripción más detallada de éstas se puede encontrar también en manuales extranjeros (e.g. USDA, 1996).

Vegetación y bio-ingeniería del suelo

La plantación simple de vegetación nativa es una buena medida para proteger la ribera de la erosión sólo en zonas afectadas por pequeñas fuerzas erosivas. La vegetación permite atrapar sedimentos, reducir la fuerza traxtriz sobre la ribera, redirigir el flujo y sostener el suelo. Sin embargo, es importante mencionar que la protección proporcionada por la vegetación es mucho menor que la entregada por elementos estructurales de protección de riberas (USDA, 1996). El crecimiento de la vegetación toma tiempo, y por lo tanto la protección no será inmediata. Adicionalmente se requiere de un mantenimiento y crecimiento de las plantas. Finalmente, el suelo de las riberas podría no ser necesariamente apto para el crecimiento de vegetación.

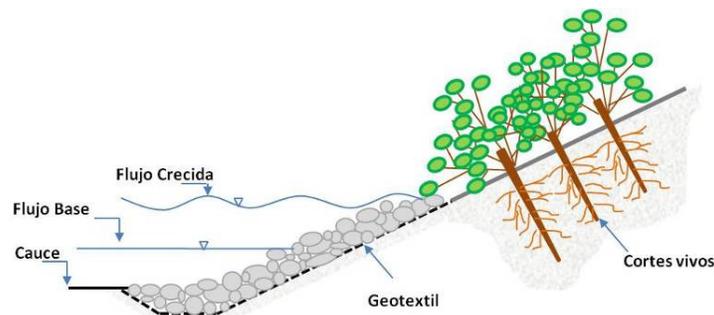


Figura 60: Esquema de protección con un sistema de bio-ingeniería del suelo, Live Stakes.

Fuente: USDA, 1996.

Los sistemas de vegetación diseñados y construidos son más efectivos para estabilizar las riberas. Se llama “bio-ingeniería del suelo” a la práctica de diseño y construcción de obras estructurales a partir de plantas y material vegetal. (USDA, 1996). Así entonces, diferentes tipos de vegetación con madera (árboles y arbustos) pueden ser instalados siguiendo configuraciones específicas, lo que entrega protección y refuerzo inmediato a la ribera (Figura 60). Adicionalmente, estos sistemas aumentan la resistencia del suelo al deslizamiento debido al crecimiento de raíces, y traen diversos beneficios ambientales, como el desarrollo de hábitat para diversas especies, mejoramiento de la calidad del agua, adición de componentes orgánicos a la corriente, captura de sedimentos y mejoramiento de la estética de la ribera (USDA, 1996). Una completa descripción de este tipo de sistemas, sus características, diseño, aplicaciones y mantenimiento se pueden encontrar en referencias como USDA (1996) y en USDA (2002).

3.3.2.3 Sistemas Estructurales:

Enrocado (riprap)

El enrocado o *riprap* correctamente diseñado e implementado es un método eficiente para la protección de la ribera del río (Figura 61). Este tipo de protección provee estabilidad en el largo plazo en ríos con altas velocidades, su diseño es estructuralmente flexible, necesita de bajo mantenimiento y tiene larga vida útil, y no depende de las condiciones climáticas del lugar (USDA).

La habilidad del enrocado para resistir las fuerzas erosivas depende de los siguientes factores: forma, tamaño, peso y durabilidad de la roca; espesor del enrocado; alineación del cauce, forma de la sección transversal, gradiente y distribución de velocidades. Para mayor detalle sobre criterios de diseño de enrocado se pueden consultar los documentos USACE (1994) y USDA (1996).

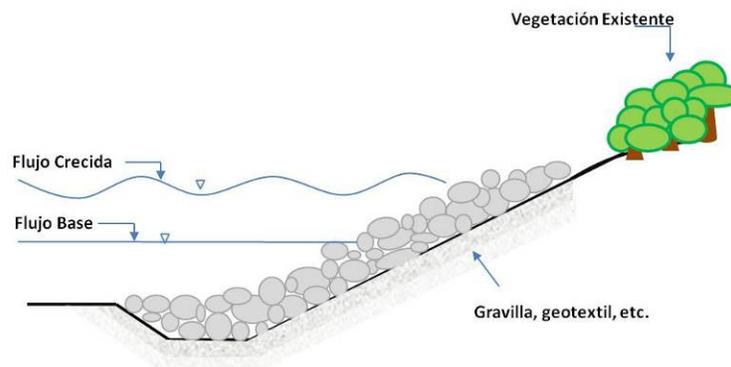


Figura 61: Esquema de protección con enrocado, no a escala

Gaviones

Los gaviones son una alternativa al enrocado y consisten en contenedores rectangulares fabricados con una malla hexagonal de acero galvanizado, los cuales se ubican en la posición requerida para luego ser rellenos con piedras (Figura 62). Son útiles cuando el enrocado necesita un tamaño de roca mayor al disponible en el sitio y efectivos en riberas de pendiente fuerte y con poco espacio (USDA, 1996). Para un diseño más amigable con el entorno, se propone la incorporación de vegetación sobre los gaviones si se desea (Figura 62).



Figura 62: Protección con gaviones, esquema no a escala y fotografía.

Espigones

Son pequeñas estructuras similares a un dique pequeño que se proyecta desde la ribera hacia el cauce, en distinto ángulo con respecto a la dirección del cauce (Figura 63 y Figura 64). Los espigones pueden actuar cambiando la dirección del flujo u obstaculizándolo, de modo de alejarlo de la zona erosionable. Su diseño y construcción es complejo, requiriéndose estudios hidráulicos acabados sobre su funcionamiento, el cual dependerá de las características del flujo y de la geomorfología de la zona. Son efectivos en curvas de ríos, pero pueden provocar socavación justo aguas abajo y al final del espigón.

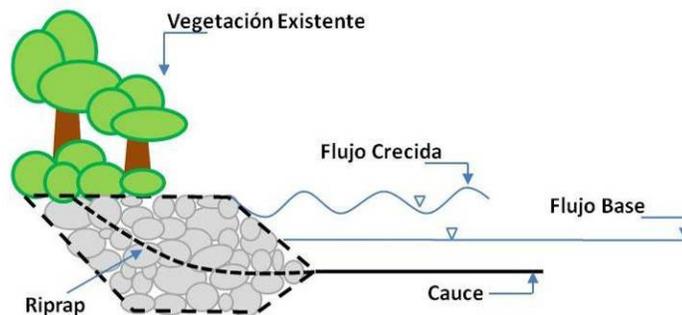


Figura 63: Esquema de protección con espigones, corte transversal al cauce, no a escala

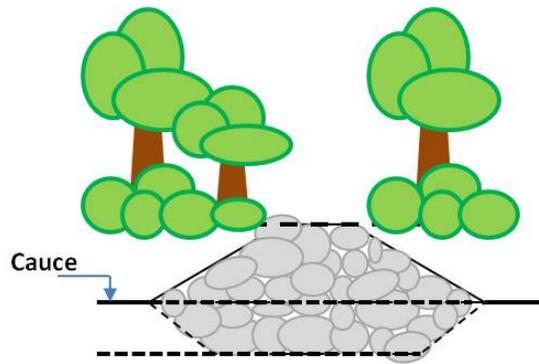


Figura 64: Esquema de protección con espigones, corte longitudinal, no a escala

Estructuras de control de sedimentación

Existen diferentes estructuras que ayudan a acumular sedimentos y desechos durante grandes crecidas. Las trampas de sedimentos son depresiones construidas en el mismo cauce o zona inundable que fomentan la acumulación de sedimentos durante flujos altos, los cuales pueden ser posteriormente removidos sin alterar el medio ambiente local. Por otra parte, las estructuras de retención de sedimentos son aquellas que detienen o reducen el movimiento de los sedimentos y están diseñadas para capturar, almacenar y asentar los sedimentos de grandes crecidas (ASCE, 2008). Otras obras de control de sedimentos son los humedales artificiales y los filtros de vegetación.

3.3.2.4 Legislación Vigente Relativa A Cauces Naturales

Decreto supremo n°850 del ministerio de obras públicas

El Decreto Supremo N°850 del Ministerio de Obras Públicas declara en su artículo 97° que: “Se prohíbe construir casas para viviendas y con mayor razón formar poblaciones en suelos periódicamente inundables, aún cuando la inundación se presente en período de hasta diez años” (art. 97°, D.S. 850). Este decreto indica a nivel nacional que los límites de construcción deben quedar fuera del área de inundación para un periodo de retorno de 10 años. Ésta es la normativa mínima que se debe seguir en la planificación futura y en el desarrollo urbano y rural de las localidades estudiadas.

Si comparamos esta reglamentación con leyes norteamericanas es una restricción baja. Por ejemplo, en Weston, Estados Unidos, se define como Base Flood Elevation (Flujo Base de Elevación) una crecida de 100 años de periodo de retorno, la cual tiene un 1% de probabilidad de ocurrencia en un año cualquiera. Algo similar es definido para todo los EE.UU. Las nuevas construcciones y edificaciones residenciales y no residenciales en ese país deben estar al menos 1 pie (30.5 cm) sobre la altura de flujo base de elevación (Floodplain Management Regulations, 2010).

Esta medida norteamericana es una buena sugerencia de planificación para ser adaptada al ámbito nacional. Esto garantizaría un mayor respeto por los cauces naturales sin tener la necesidad de intervenir posteriormente con medidas estructurales para mitigar las inundaciones. De esta manera, se puede concluir que una buena planificación tomada con cautela y privilegiando la prevención, genera ahorros futuros para las autoridades locales y evita pérdidas y problemas asociados directamente a las crecidas.

Decreto supremo n°609 del ministerio de tierras y colonización²¹

Este Decreto declara que “corresponde al Ministerio de Tierras y Colonización, fijar los deslindes de los bienes nacionales de uso público que constituyen los cauces de los ríos, lagos y esteros”. Para la fijación de deslindes este Ministerio recibe asesoría del Departamento de Defensas Fluviales, quien informa sobre la materia y agrega un informe técnico y un plano de la zona del río, lago o estero cuyo deslinde se trata de fijar. Con estos antecedentes el Ministerio de Tierras y Colonización hace decreta los deslindes.

²¹ Actual Ministerio de Bienes Nacionales

Además, se consideran los siguientes aspectos en las definiciones:

- Lecho es aquella sección de tierra por donde habitualmente corre el flujo de agua.
- Cauce es aquella sección de tierra que ocupa y desocupa el agua en sus crecidas periódicas ordinarias.
- Los terrenos ocupados y desocupados en crecidas extraordinarias no se consideran cauce.

Plan regulador metropolitano de Santiago (PRMS)

A continuación se cita el contenido en el título N°8 del Plan Regulador Metropolitano de Santiago donde se señala cómo tratar las zonas amenazadas por crecidas fluviales. Esto se realiza a modo de recomendación para utilizarse en la zona del estudio de la VI y VII región.

Áreas De Amenaza Natural Por Inundación

Las áreas de amenaza natural por inundación se dividen en tres grupos: recurrentemente inundables, amagadas por inundación y quebradas.

- **Áreas Recurrentemente Inundables:** En las áreas recurrentemente inundables sólo se permitirá las instalaciones mínimas complementarias a las actividades al aire libre, excepto que los propietarios de terrenos afectados por estas normas desarrollen estudios específicos, debidamente aprobados por el Ministerio de Obras Públicas, en los cuales se determine en detalle los límites del área inundable que afecte a su predio, así como las obras que deben realizarse para protegerlo.
- **Sectores Amagados por Inundación:** Son terrenos consolidados con edificaciones adyacentes a puntos de desborde de cauces permanentes, con peligro de inundación. Los planes de regulación comunales deben reconocer estas zonas y contemplar condiciones para minimizar el riesgo de inundación.
- **Quebradas:** Las construcciones y urbanizaciones que se ejecuten en quebradas deberán contar con los estudios y proyectos que aseguren el normal escurrimiento de las aguas. Estos estudios deberán ser aprobados por los organismos que corresponda, además que la recepción municipal se efectuará previa conformidad de las obras derivadas de dichos proyectos.

Áreas De Amenazas Geofísicas Asociadas A Inundaciones

Los sectores con amenazas geofísicas asociadas a inundaciones corresponden a áreas con riesgo de erosión o socavamiento, producido por aumento de volumen y velocidad del caudal de agua.

A menos que exista un estudio aprobado por un organismo competente que indique lo contrario, en estas áreas sólo se permitirá el equipamiento de áreas verdes.

3.3.2.5 Recomendaciones Hidrológicas Para Modelaciones Hidráulicas

Las recomendaciones en el área de inundaciones fluviales en cuanto a la hidrología se hacen tomando en cuenta las características del régimen hidrológico de la zona y la información hidrometeorológica existente. Estas recomendaciones buscan facilitar la elaboración de futuros estudios hidrológicos en la misma zona u otras similares.

La mayoría de los cauces de la región considerada en el estudio son esteros cortos, que nacen en la Cordillera de la Costa y desembocan en el mar. Estos esteros drenan cuencas relativamente pequeñas y de respuesta rápida, por lo que las crecidas son repentinas y ocurren producto de lluvias intensas. Por lo tanto, los procesos hidrológicos en cuencas de este tipo deben ser caracterizados y medidos utilizando una resolución temporal fina que permita capturar la variabilidad temporal significativa que se presenta a escalas temporales pequeñas. Este registro de información permitiría un mejor análisis y modelación de crecidas e inundaciones fluviales como el que se realizó en este estudio.

La información existente respecto a pluviometría y fluviometría es escasa en la zona. Si bien existen estaciones pluviométricas en la zona de la costa de la VI y VII región, la resolución temporal diaria de los registros no permite describir de la mejor forma las tormentas que generan las crecidas rápidas de estos cauces. Datos diarios de pluviometría son buenos para desarrollar balances hídricos y estimar a grueso modo la disponibilidad de los recursos para el consumo, pero no para una modelación lluvia escorrentía que permita determinar crecidas en cuencas cortas. Por ejemplo, un registro diario no permite conocer si la cantidad de agua caída para un día determinado precipitó en 2 o en 20 horas. Esto implica una gran diferencia en la forma en que se genera la crecida en cuencas pequeñas, y por lo tanto se dificulta la modelación del eje hidráulico y la inundación. Se necesitan entonces estaciones que permitan el registro de precipitación con un intervalo de tiempo pequeño de a lo más 1 hr, siendo 5 o 15 minutos lo ideal.

Lo mismo sucede con los registros fluviométricos actuales. Lo ideal sería tener estaciones fluviométricas en todos los ríos y esteros de importancia de la zona, para evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo. Sin embargo los costos de tal medida podrían ser muy altos, por lo que se recomienda instalar al menos una estación en la zona. Dicha estación junto a

un registro pluviográfico más preciso, permitiría conocer de mejor manera el comportamiento de este tipo de cuencas.

Finalmente se concluye que la información de CIREN sobre tipos de suelos es suficiente para el desarrollo de un modelo hidrológico de lluvia-escorrentía en la zona. Los suelos del área de estudio en su mayoría pertenecen al tipo franco arenoso y tienen capacidades de drenaje similares. Se recomienda el uso de esta información para futuros estudios.

3.3.3 REMOCIÓN EN MASA

El fenómeno de remoción en masa se define según Hauser como procesos de transporte de material que pueden ser de movilización rápida o lenta determinados por el volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones generados por una serie de factores. Estos están generalmente controlados por la gravedad por lo que tienden a tener un carácter de descendente. Existen distintas categorías de remoción en masa según autores como Hauser y Cruden & Varnes: Desprendimientos o caídas, Deslizamientos, Flujos, Volcamientos y Extensiones laterales. Hay una gran variedad y diversidad de factores que condicionan el desarrollo de las remociones en masa los cuales son difíciles de determinar, sin embargo existen factores desencadenantes conocidos, tales como: movimientos sísmicos, ciclones tropicales, tempestades locales más graves y crecidas fluviales.

Dependiendo del factor desencadenante y la categoría de la remoción en masa se pueden establecer distintas medidas de mitigación.

Las siguientes recomendaciones con respecto a medidas de mitigación corresponden a las principales soluciones estudiadas e implementadas en Chile y otros países afectados por el fenómeno geofísico de remoción en masa.

A continuación se presenta un resumen adaptado del documento “The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides” de Lynn M. Highland, United States Geological Survey, and Peter Bobrowsky, Geological Survey of Canada, del año 2008.

La forma más fácil de tratar con amenazas de remoción en masa es evitar la construcción en las laderas escarpadas y en zonas de deslizamientos de tierra pre-existentes; sin embargo, esto no siempre es práctico. Otro enfoque es regular el uso de la tierra y del desarrollo de proyectos para asegurar que las nuevas construcciones no reduzcan la estabilidad de los taludes. En caso de que los deslizamientos de suelo afecten a las estructuras existentes o no se puedan evitar, algunas medidas físicas se pueden utilizar. En algunos casos, la supervisión y los sistemas de alerta temprana permiten a los residentes evacuar temporalmente en momentos en que la probabilidad de actividad de deslizamientos sea alta.

3.3.3.1 Estabilización De Taludes En Suelo

Drenaje subterráneo

El drenaje del suelo es uno de los elementos más importantes para disminuir la iniciación de una remoción en masa. El drenaje es efectivo por que aumenta la estabilidad del terreno y reduce el peso de la masa que se remueve. Existen dos tipos de drenaje, el superficial y el subterráneo, siendo este último más costoso que el primero. Existen varios métodos de drenajes como: Nivelación del sitio, Zanjas y desagües y tubos de drenaje, entre otros.

La estabilidad de los taludes aumenta en la medida que se reduce el nivel freático de aguas subterráneas en la masa de suelo.

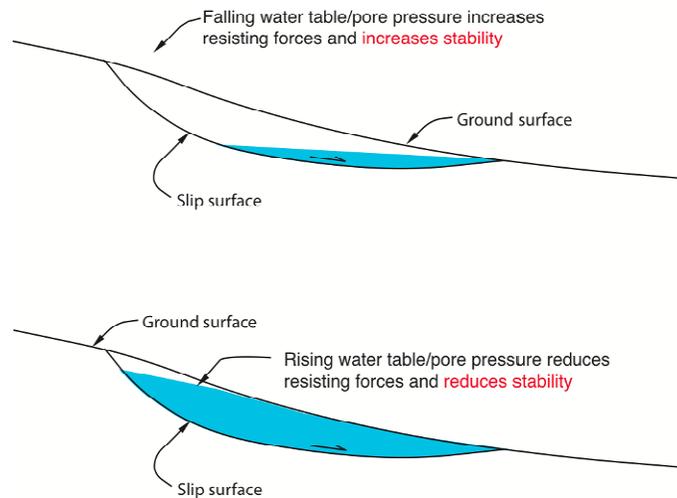


Figura 65. Estabilización mediante la reducción del nivel freático

Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

Esto se puede lograr de las siguientes formas:

- Dirigiendo el agua superficial lejos del talud.
- Mediante el drenaje del agua subterránea fuera del talud para reducir la posibilidad de un aumento en el nivel freático.
- Cubriendo el talud con una membrana impermeable.
- Reducir al mínimo la superficie expuesta al agua.

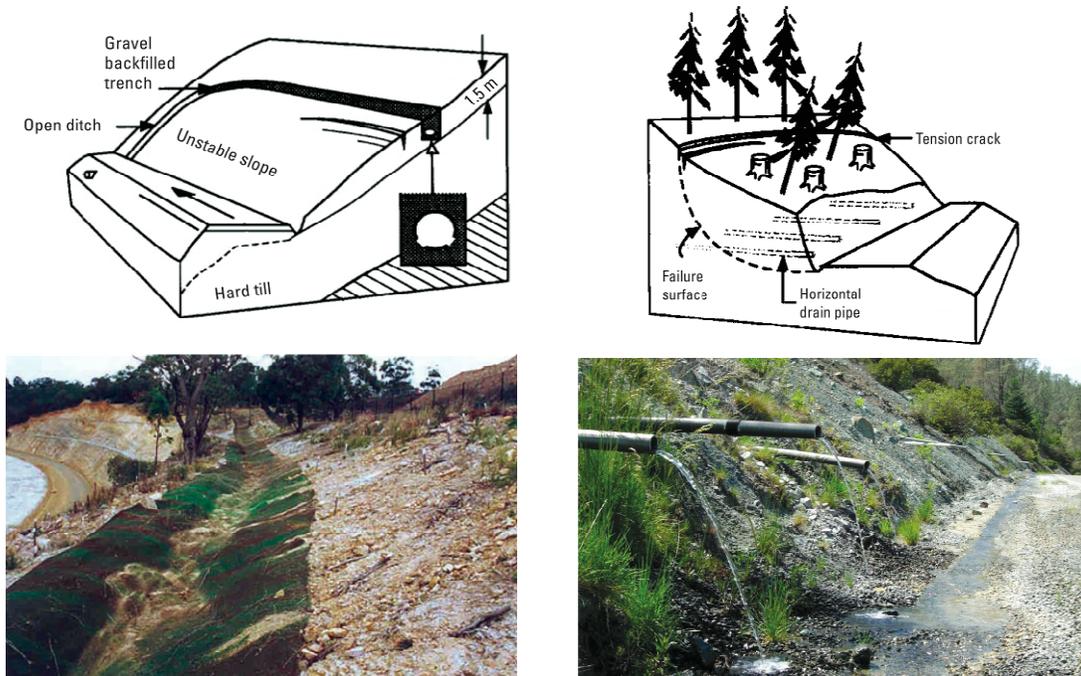
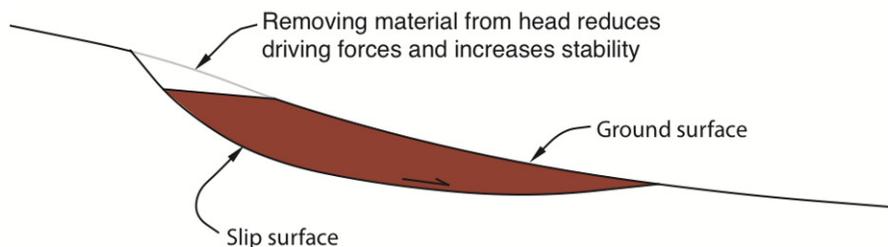


Figura 66. Estabilización mediante drenaje de aguas superficiales y tubos drenantes (tipo “barbacanas”).

Fuente: USGS, “The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides”

Excavación del suelo y muros de contención

La estabilidad de los taludes se puede aumentar agregando peso al pie del talud, instalando estructuras de contención al pie del talud, o bien quitando peso en la zona más alta del talud. La siembra o fomento del crecimiento natural de la vegetación también puede ser un medio eficaz para la estabilización de pendientes.



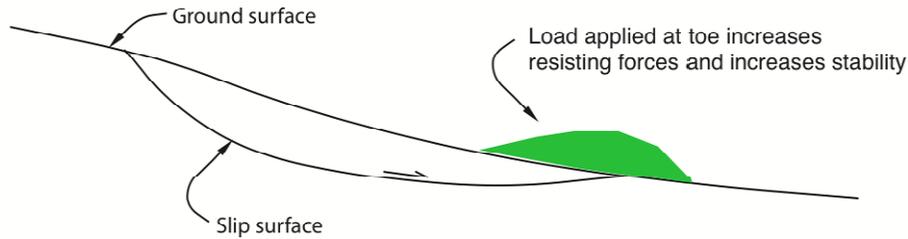


Figura 67. Estabilización mediante la remoción en la zona superior, e incremento a los pies del talud.

Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

Existen 2 tipos de excavación que ayudan a mitigar los efectos de una remoción en masa dependiendo del contexto. Estas son la remoción de la tierra desde la cabeza (parte más alta) de una pendiente y la reducción de altura de una pendiente.

Un ejemplo de un sistema de estabilización de taludes es el uso de muros de contención. Los muros de contención son estructuras construidas para soportar una masa de suelo de forma permanente. También se utilizan cada vez que los requerimientos de espacio hacen que sea imposible la inclinación lateral de una excavación, o para evitar el desprendimiento de suelos de ladera sueltos hacia carreteras, caminos, o propiedades. Los muros de contención también se utilizan para prevenir o minimizar la erosión del pie del talud causada por el flujo de un río. Los muros de contención no pueden, sin embargo, ser utilizados para evitar completamente la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Existen varios tipos de muros en su forma constructiva como en los materiales. Uno de los elementos más importantes es un drenaje adecuado, ya que la presión ejercida por el agua en elementos de altura puede hacer colapsar la estructura. Dentro de la variedad de muros podemos encontrar: Entrelazados de madera timber cribs, bandejas de acero, pilotes, tablestacas, malla de plástico y tierra armada. Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas en ciertas situaciones, pero el costo es por lo general lo que determina el tipo que finalmente se adopte.

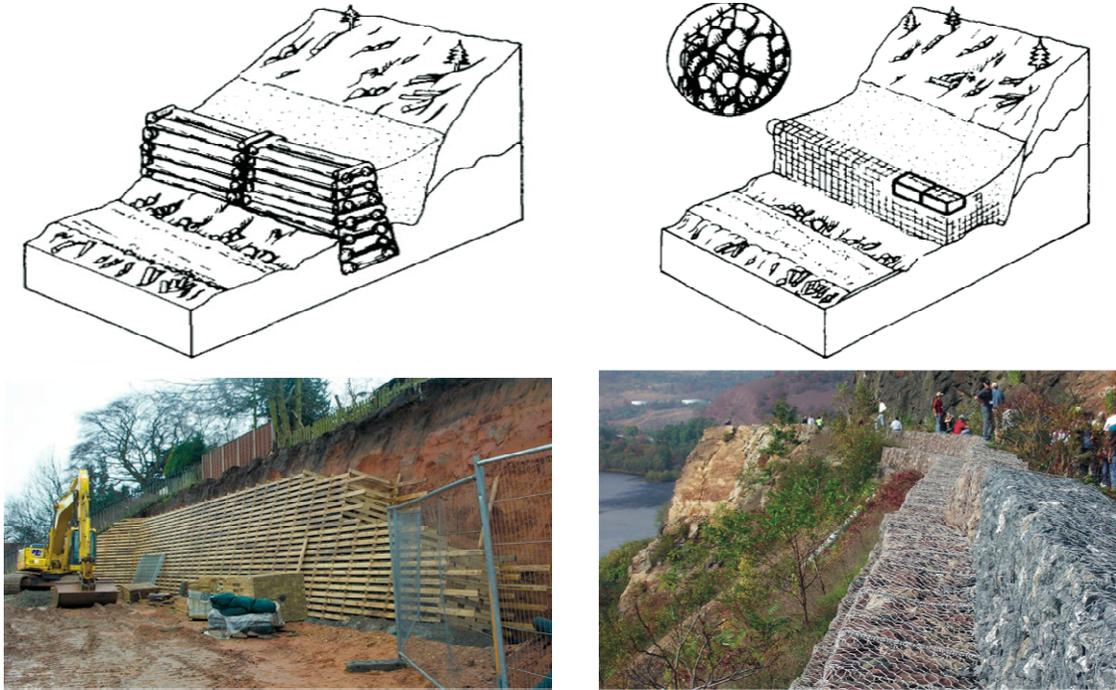


Figura 68. Estabilización mediante estructura de contención tipo timber crib y gaviones

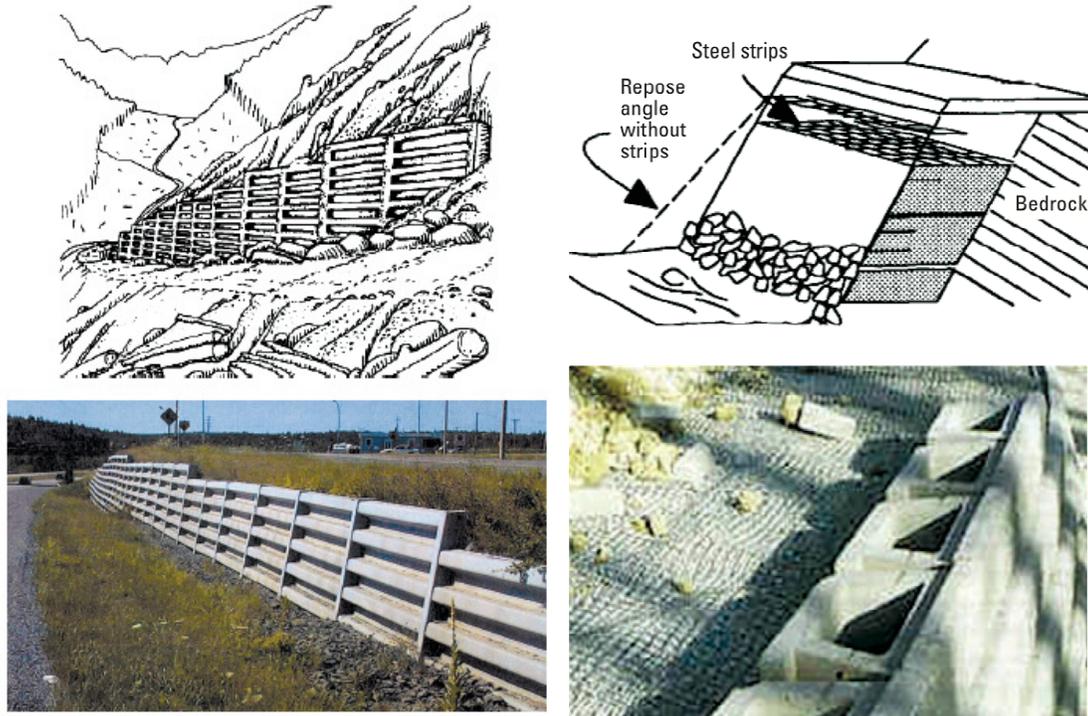


Figura 69. Estabilización mediante tierra mecánicamente estabilizada (“tierra armada”)

Fuente: USGS, “The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides”

Refuerzo de las pendientes

Pueden ser mallas de refuerzo plástico o contrafuertes enrocados: Este método para aumentar la estabilidad consiste en aumentar el peso del material lo que crea una contra fuerza que resiste a la falla. Los trozos de rocas sirven más que la tierra, ya que además de aumentar el peso actúan como drenaje.

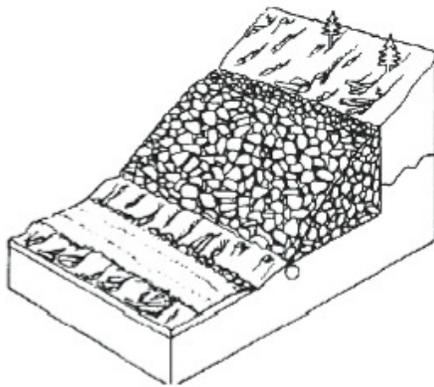


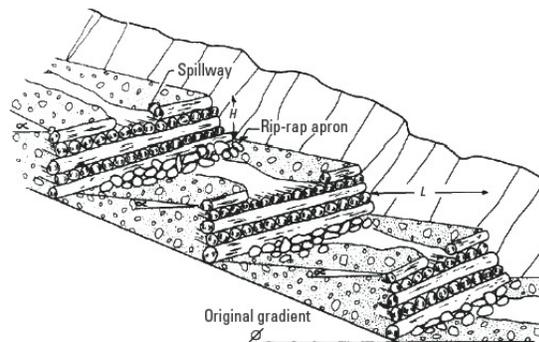
Figura 70. Estabilización mediante refuerzo de las pendientes

Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

Revestimiento del cauce de un canal:

Son otra forma de estabilizar un cauce de un arroyo o un riachuelo. Existen dos tipos:

Refuerzo del revestimiento de los costados del cauce con lechada de hormigón de alta calidad, preferentemente reforzada por una fibra de acero para resistir la abrasión, donde se agregan rocas sobresalientes para disipar la energía del flujo, los cuales son muy efectivos en la disminución del volumen de escombros y también para mantener el cauce alineado.



Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

Diques de chequeo: Son pequeños diques de almacenaje de sedimento construido en el canal por tramos para estabilizar la base del canal. Están hechos para controlar el fluido de desechos y su volumen.

3.3.3.2 Estabilización De Taludes En Roca

Las caídas de rocas son comunes en las zonas del mundo con pendientes escarpadas en rocas y acantilados. Comúnmente éstas son las zonas de montaña o meseta, ya sea en las zonas costeras o entre formaciones aisladas de roca. Las caídas de rocas causan grandes cantidades de daños monetarios y de muertes, lo primero debido a que el transporte y el comercio quedan impedidos debido a las carreteras bloqueadas, y lo segundo como producto de víctimas directas de la caída de rocas. El desvío de caminos y carreteras alrededor de las áreas de caídas de rocas es a veces implementado, pero no siempre es práctico. Muchas comunidades instalan letreros de peligro en torno a áreas de alto riesgo de caída de rocas. Algunos métodos de mitigación de riesgos de caída de rocas son las zanjas de captura, escalonamiento y corte, cables y mallas, shotcrete, anclajes, pernos, dovelas, y tronaduras controladas.



Figura 71. Estabilización mediante shotcrete, mallas y anclajes más berma de protección

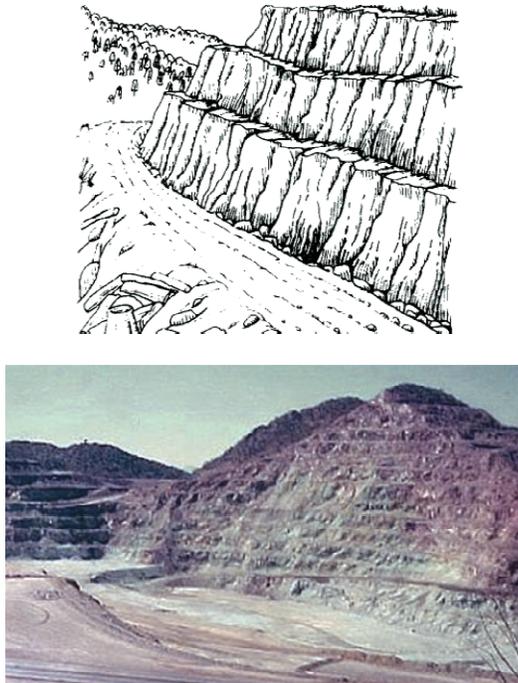


Figura 72. Estabilización mediante escalonamiento y corte.

Fuente: USGS, “The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides”

3.3.3.3 Deslizamientos de detritos ó flujos de escombros

Debido a la velocidad e intensidad de los flujos de escombros, la mayoría de ellos son muy difíciles de detener una vez que se han iniciado. Sin embargo, existen algunos métodos disponibles para contener y desviar los flujos de escombros principalmente a través de la utilización de muros de contención y cuencas para el flujo de escombros. Otros métodos incluyen la modificación de pendientes (evitando que sean vulnerables a la iniciación de flujo de escombros mediante el uso de control de la erosión), revegetación, y la prevención de incendios forestales, los que tienden intensificar los flujos de escombros en las laderas escarpadas.



Figura 73. Muro de contención para flujos de detritos

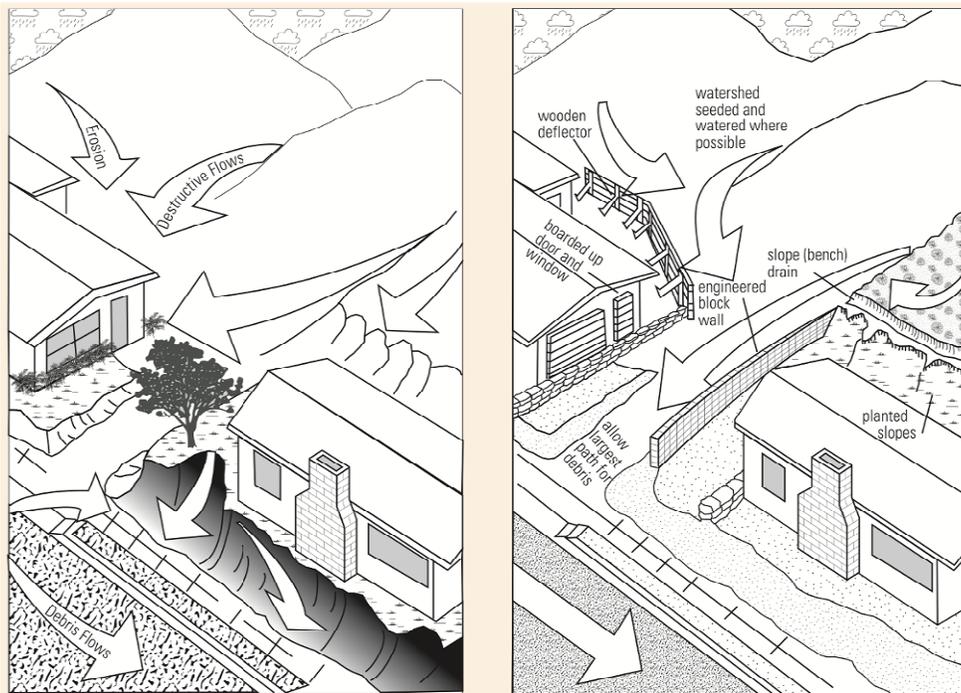


Figura 74. Medidas locales de protección para flujos de detritos (debris flow)

Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

3.3.3.4 Métodos Biotécnicos De Mitigación De Deslizamientos

Este tipo de protección de laderas se utiliza para reducir los efectos medioambientales adversos de las medidas de mitigación de deslizamientos. Las estructuras convencionales de retención de suelo, de acero o de concreto, por lo general no son agradables a la vista o al medio ambiente. Estos métodos tradicionales están siendo cada vez más reemplazados por cuerpos de vegetación compuestos de suelo y estructura que son más amigables con el medioambiente, esto como parte de un proceso que ha empezado a ser conocido como la protección biotecnológica de taludes. Los sistemas biotecnológicos más comunes incluyen sistemas de redes de diferentes materiales anclados por soil-nails que sostienen en su lugar al suelo sembrado con césped. Existen investigaciones sobre el uso de plantas para estabilizar el suelo para evitar su erosión excesiva y también para mitigar el efecto de los deslizamientos. Uno de los tipos más prometedores de plantas es el llamado Vetiver, un tipo de hierba que funciona muy bien para estabilizar taludes de la erosión en muchos tipos diferentes de entornos.



Figura 75. Estabilización mediante sistema biotécnico

Fuente: USGS, "The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides"

3.3.3.5 Preparación Para Mitigar Los Daños Causados Por Las Remociones En Masa.

Antes de ocurrida la remoción en masa

-Desarrollo de un plan de desastre familiar: Informarse de todo lo relacionado con remoción en masa con las entidades adecuadas, para discutirlo con la familia.

- Desarrollar un plan de evacuación.
- Discutir la remoción en masa con la familia.

Durante la remoción en masa

- Estar alerta y despierto.
- Si se encuentra en áreas de peligro, considerar dejar el lugar donde se encuentra.
- Escuchar cualquier sonido inusual que pueda relacionarse con una remoción en masa.
- Si se encuentra cercano a un caudal de agua, estar alerta por cualquier cambio que haya en él y esté listo para evacuar.
- Si está conduciendo estar alerta, ya que los terraplenes a lo largo de las vías son susceptibles a remociones en masa.

Después de la remoción en masa

- Manténgase alejado de las áreas donde ocurrió el fenómeno de remoción en masa.
- Cheque a las personas que puedan necesitar ayuda.
- Ayude a los vecinos que requieran de asistencia especial.
- Este atento a la información por cualquier medio.
- Este alerta a la posible inundación que podría venir después de la remoción.
- Cheque las fundaciones del lugar donde se encuentra.
- Replante el suelo dañado.
- Busque la opinión experta para evaluar peligros sobre remociones en masa y técnicas de reducción de riesgo.

3.3.4 LICUEFACCIÓN

A continuación se presenta un resumen adaptado del documento “Case Histories of Post-Liquefaction Remediation” preparado por el Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, de la International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, del 2001.

En términos generales, las medidas de mitigación para la amenaza de licuefacción se pueden clasificar en dos categorías dependiendo de sus principios fundamentales de funcionamiento:

- Prevención de la licuefacción.
- Reducción de daños a las instalaciones debido a la ocurrencia de licuefacción durante los terremotos.

Esta clasificación ciertamente simplificada, por lo que algunas medidas de mitigación podrían caer en ambas categorías. La prevención de la ocurrencia de licuefacción frente a cargas sísmicas se puede

lograr mediante el aumento de la resistencia cíclica no-drenada del suelo, la mejora de la resistencia a la deformación, y/o mediante la disipación de las presiones de poros que se generan en suelos saturados sometidos a carga sísmica.

En particular, la resistencia a la licuefacción se puede incrementar mediante los siguientes factores:

- Alta densidad
- Distribución granulométrica apropiada
- Estabilización de la estructura interna del suelo
- Baja saturación

Es más, es improbable que ocurra licuefacción en situaciones donde exista:

- Disipación “inmediata” de los excesos de presiones de poros
- Interceptación de la propagación de excesos de presión de poros de la zona que rodea al material licuable.
- Reducción de la razón entre el esfuerzo cortante y la presión vertical efectiva, mediante, por ejemplo, el aumento de la presión de sobrecarga efectiva.
- Reducción de las deformaciones de corte en el terreno durante el terremoto.

Los métodos y principios de las medidas de mitigación en contra de la ocurrencia de licuefacción se presentan de manera resumida en la Figura 76.

La densificación mejorará la resistencia contra la licuefacción mediante el aumento de la densidad de los suelos involucrados (punto 1). El efecto indicado en el punto 7 anterior se espera que también ocurra para este método. Existen datos que muestran que las presiones horizontales en el suelo se han incrementado después de la densificación. Este método fue probado, y tuvo un funcionamiento satisfactorio luego del terremoto del 27 de febrero pasado, en un conjunto habitacional ubicado en la rivera del lado de Concepción del río Bío-Bío, cerca del Puente Llacolén. El procedimiento utilizado en tal caso fue el de compactación dinámica.

El método denominado de sustitución del suelo consiste en el reemplazo del depósito de suelo licuable por suelo más competente no-licuable, con una apropiada distribución de tamaño de grano (punto 2). Suelos como la grava se utilizan como reemplazo debido principalmente a su distribución de tamaño de grano. Además, debido a su alta permeabilidad, las gravas generalmente tienen el efecto indicado en el punto 5 anterior.

El método de solidificación, mediante el cual al suelo se le agregan ciertos tipos de aditivos, puede ser considerado asociado al punto 3. Sin embargo, este método además puede activar los efectos señalados en los puntos 6 y 8.

La reducción del nivel freático (“depresión de la napa”) es eficaz para reducir el grado de saturación del suelo, tal como se indica en el punto 4. El ítem 7 se puede lograr también con este método mediante el aumento de la presión efectiva de sobrecarga que acompaña a la disminución del nivel de aguas subterráneas.

El método de disipación de presiones de poros, se basa en el efecto indicado en el punto 5. El efecto 6 también se puede esperar de este método, dependiendo de la disposición de drenes.

El efecto del artículo 7 se puede lograr mediante la reducción del nivel freático y por el método de aumentar el empuje horizontal. Hay algunos casos prácticos de este método. Por otra parte, el método disminución de deformaciones de corte consiste en la prevención de licuefacción con la reducción de la deformación al corte inducida por la vibración sísmica. Lo anterior generalmente se logra mediante la construcción de algún tipo de estructura de contención perimetral.

Hay algunos métodos dirigidos a reducir los daños a las estructuras, aunque permitiendo la ocurrencia de licuefacción en sí. Dentro de este tipo de medidas está el fortalecimiento de las fundaciones de las estructuras y del terreno de apoyo de las estructuras, para así evitar la reducción de la capacidad de carga o de la capacidad de flotación debido a la licuefacción.

Por último, estructuras flexibles que pueden deformarse de acuerdo con el movimiento del suelo, pueden ser la solución para reducir los daños, por ejemplo, a las estructuras enterradas.

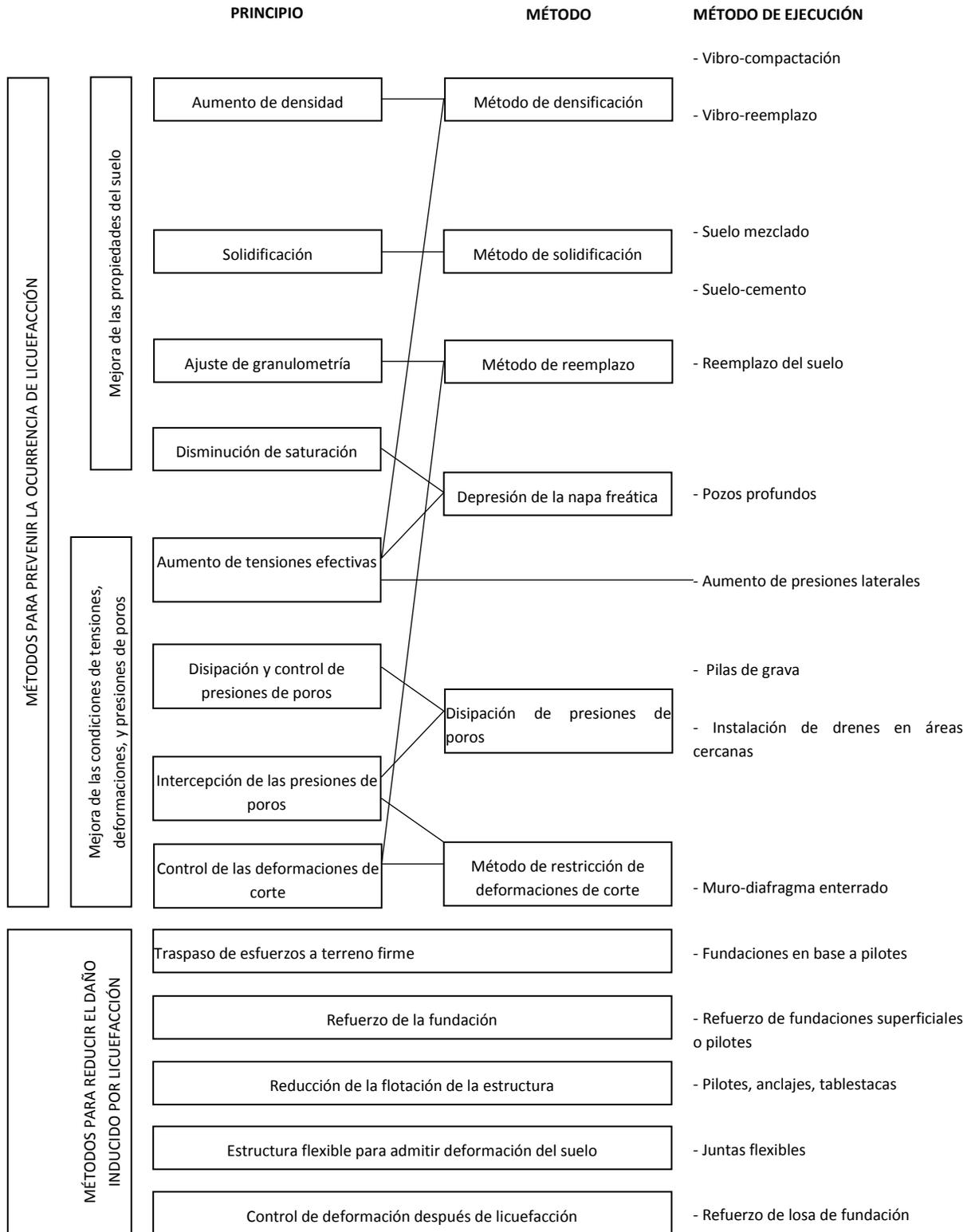


Figura 76. Principios y técnicas de medidas de remediación en contra de licuefacción

Fuente: elaboración propia adaptada del documento del TC4, 2001

3.3.5 AMPLITUD SÍSMICA

3.3.5.1 Introducción

Para mitigar los efectos de la amenaza de amplificación sísmica, las principales recomendaciones son tres:

- Efectuar una apropiada clasificación sísmica del suelo de fundación.
- Escoger un espectro de diseño adecuado para la condición del suelo.
- Hacer uso de edificaciones con una estructuración “sana”.

Dentro del diseño sísmico, una de las variables fundamentales es lo que se conoce como el espectro de diseño de pseudo-aceleraciones en respuesta elástica. La pseudo-aceleración es un parámetro que refleja directamente los esfuerzos a los que se verá sometida, y las deformaciones que experimentará, una determinada estructura (caracterizada por su período fundamental de vibración) al ser sometida a un determinado sismo. La Figura 77 muestra, para distintas condiciones de suelo de fundación, la forma que tienen estos espectros en términos del factor de amplificación sísmica versus el período de vibración analizado.

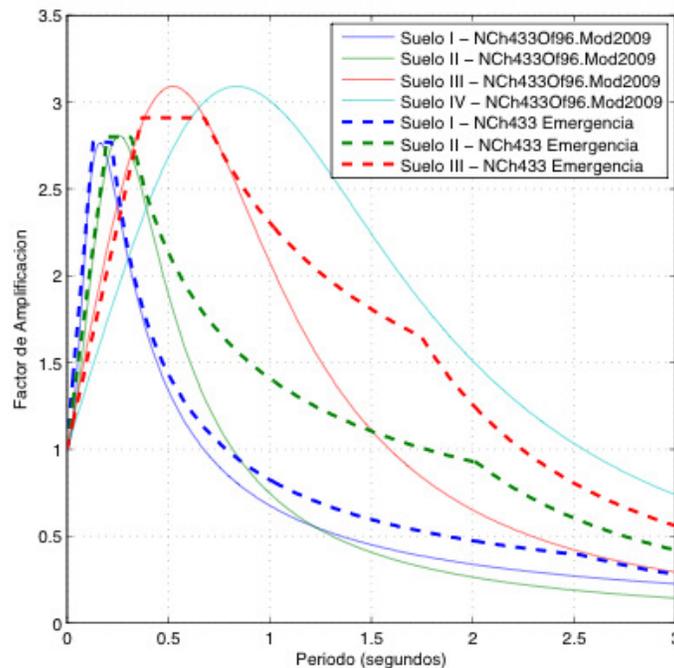


Figura 77. Factores de amplificación sísmica en respuesta elástica para distintos tipos de suelo.

Fuente: normas NCh433Of96. Mod2009 (líneas llenas) y NCh433 de Emergencia (líneas segmentadas).

En la Figura 77 un factor de amplificación igual a 1 implica que la estructura experimentará una pseudo-aceleración igual a la aceleración máxima del suelo de fundación. Lo que esta figura muestra es que en general existe un primer tramo (de bajos períodos) en los que en la medida que la estructura se va flexibilizando (es decir, su período fundamental de vibración va aumentando) la pseudo-aceleración en la estructura tienden a aumentar; luego hay un tramo en que la amplificación se estabiliza (en valores típicos alrededor de 2.8); y luego hay un tercer tramo donde la amplificación de las aceleraciones basales decae a valores incluso por debajo de 1. Tal como la Figura 77 lo muestra, la forma definitiva del espectro de diseño dependerá fuertemente del tipo de suelo de fundación. La máxima amplificación en los suelos más rígidos (Tipo I) se presenta para períodos bajos, y tal amplificación presenta un rápido decaimiento con el período de la estructura. Por otra parte, la máxima amplificación en los suelos más blandos (Tipo III) se presenta para períodos más altos, y tienen un decaimiento más lento que el que muestran los suelos más rígidos. Existe además una tendencia a que los suelos más blandos tengan valores máximos de amplificación algo superiores a los que se presentan en suelo más rígidos.

Lo indicado anteriormente muestra que las situaciones más riesgosas, es decir, de mayor amplificación sísmica, se tenderán a dar en estructuras flexibles (de alto período fundamental de vibración) apoyadas en suelos blandos, o bien en estructuras rígidas apoyadas en suelos duros. Ahora bien, dado que la demanda de deformaciones es más grande en estructuras flexibles, y a que las estructuras rígidas bien diseñadas tienden a tener una mayor resistencia, la condición de estructura flexible apoyada en suelo blando es una sobre la cual hay que prestar particular atención. En edificios, las estructuras flexibles corresponden en general a estructuras de un gran número de pisos.

3.3.5.2 Clasificación Sísmica Del Suelo

Un aspecto importante que quedó al descubierto a partir del comportamiento observado en distintas estructuras luego del terremoto del 27 de Febrero de 2010, tiene que ver con la clasificación sísmica de los suelos de fundación. Si bien la norma del año 1996 (NCh433.Of96) reconocía que, dependiendo del tipo de suelo de fundación, la demanda sísmica esperada en un determinado sitio sería diferente, el procedimiento de clasificación de los suelos de fundación mostró deficiencias. En primer lugar se observó que era posible clasificar al suelo mediante demasiados parámetros diferentes, incluso mediante variables poco relevantes desde el punto de vista sísmico como el peso unitario seco del suelo (caso de gravas para Suelo II). Lo anterior implicaba que dependiendo del parámetro escogido el suelo podía ser clasificado, por ejemplo, como tipo II ó III, lo que implicaba grandes diferencias en la demanda sísmica para ciertos tipos de estructuras (ver Tabla 96). Debido a esto, recientemente el Instituto de la Construcción convocó a un grupo de expertos para proponer una nueva clasificación sísmica de los suelos de fundación.

Como resultado de este trabajo se decidió reemplazar la clasificación anterior por una que dependa de sólo una variable relacionada con el comportamiento sísmico de los suelos. La variable escogida fue la velocidad de propagación de ondas de corte promedio en los 30 metros bajo el sello de fundación de la estructura, en concordancia con la práctica norteamericana al respecto. La Tabla 96 muestra una parte del resultado de esta nueva clasificación sísmica donde es posible observar que el principal parámetro de clasificación es la velocidad de propagación de ondas de corte en los primeros 30 metros bajo el sello de fundación de la estructura.

Como recomendación fundamental en este sentido, y en concordancia con el desarrollo de la nueva normativa chilena al respecto, está el clasificar apropiadamente los suelos de fundación de las estructuras mediante medidas directas o estimaciones indirectas de las velocidades de propagación de onda en los primeros 30 m bajo el sello de fundación. Es importante destacar que esta normativa es aplicable para viviendas sociales o estructuras de 5 o más pisos sobre la superficie del terreno natural o más de 10.000 m².

Suelo Tipo		V _s (m/s)	RQD	q _u (MPa)	N ₁	S _u (MPa)
I	Roca y suelo cementado (*1)	≥ 900	≥ 50%	≥10 (ε _{cu} ≤2%)		
II	Roca blanda o suelo muy denso o muy firme	≥ 500		≥ 0,40 (ε _{cu} ≤2%)	≥ 50	
III	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180			≥ 30	≥0,05
IV	Suelo suelto o blando	< 180			≥ 20	
V	Suelos Especiales	*	*	*	*	*

Tabla 96. Nueva clasificación sísmica de suelos (NCh433 de Emergencia)

3.3.5.3 *Espectros De Diseño*

El terremoto del Maule de 2010 mostró que para algunas combinaciones particulares de suelo y tipo de estructura, la sollicitación sísmica medida sobrepasó la sollicitación registrada para eventos sísmicos anteriores y aquella dada por distintas normas chilenas. En las Figura 78 y Figura 79 (Verdugo, 2010) se comparan, para dos tipos distintos de suelo, los espectros de diseño dados por tres normas chilenas (NCh433.Of96, NCh2369.Of2003, y NCh2745.Of2003) y los espectros de respuesta que se obtienen de los registros asociados a sismos hasta 1987 (líneas azules), y eventos ocurridos entre 1988 y 2010 (líneas rojas y verdes). Estas figuras muestran, por ejemplo, que el espectro de la norma NCh433.Of96 es un espectro de diseño que representa correctamente a valores por sobre el promedio de los espectros reales registrados hasta 1987. Sin embargo, se observa que para suelos Tipo II (Figura 78) algunos de los espectros del terremoto del Maule 2010 tienden a sobrepasar los espectros de eventos anteriores en la zona de períodos entre 0.5 y 1.2 segundos, y para suelos Tipo III (Figura 79) esto también ocurre, pero para períodos de vibración entre 1.3 y 3 segundos. Este tipo de observaciones es la que dio origen a la formación de un comité de expertos convocados por el Instituto de la Construcción cuyo resultado fue la generación de una norma NCh433 de emergencia cuya nueva propuesta de espectro de diseño es la que se muestra en la Figura 79. Este nuevo espectro de diseño fue desarrollado de manera que fuese conservador, particularmente en aquellas zonas donde los registros del terremoto del Maule 2010 muestran una mayor sollicitación sísmica que la observada en eventos anteriores.

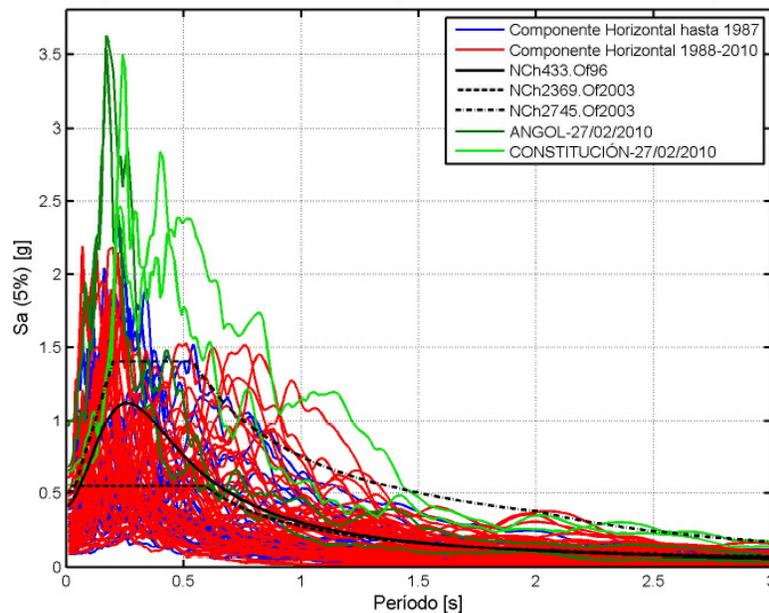


Figura 78. Comparación entre espectros de respuesta de distintas normas chilenas y los espectros de respuesta obtenidos a partir de distintos registros reales de aceleraciones. Suelo Tipo II, Zona Sísmica 3.

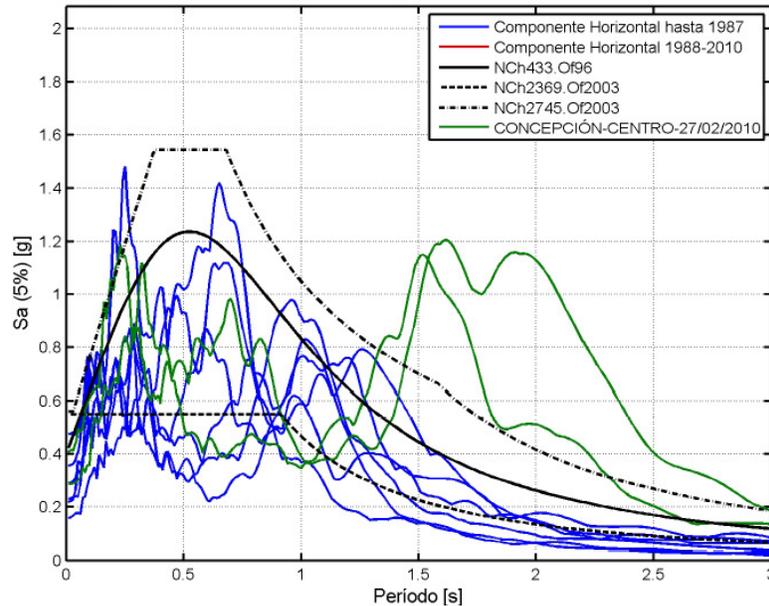


Figura 79. Comparación entre espectros de respuesta de distintas normas chilenas y los espectros de respuesta obtenidos a partir de distintos registros reales de aceleraciones. Suelo Tipo III, Zona Sísmica 3.

Como recomendación en este sentido, y hasta que no surja una versión revisada de la norma NCh433, está el hacer uso de los nuevos espectros de diseño indicados en la versión de emergencia de la norma NCh433.

3.3.5.4 Estructuración “Sana”

Incluso en situaciones donde se ha caracterizado apropiadamente el suelo de fundación y el movimiento sísmico esperado, es posible tener comportamientos sísmicos inapropiados debido a estructuraciones poco “sanas”, desde el punto de vista de la ingeniería estructural, de ciertas edificaciones. En este sentido, y en la medida de lo posible, la recomendación es evitar irregularidades estructurales de los siguientes tipos (del código UBC, Uniform Building Code, de 1997):

En sentido vertical

- Irregularidad en términos de rigidez con presencia de piso “blando”
- Discontinuidad en términos de capacidad con presencia de piso “débil”
- Distribución inapropiada de masas en altura

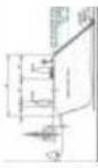
- Irregularidad geométrica donde un mismo elemento estructural cambia en forma importante sus dimensiones al pasar de un piso a otro
- Offsets importantes del sistema resistente sísmico
-

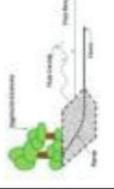
En sentido horizontal

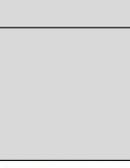
- Irregularidad torsional en casos con diafragmas de piso rígidos
- Esquinas re-entrantes
- Discontinuidad del diafragma
- Offsets fuera del plano
- Sistemas resistentes no-paralelos

3.3.6 RESUMEN OBRAS DE MITIGACIÓN

A continuación se presenta un resumen de las diferentes obras de mitigación y sus descripciones, y un resumen de las recomendaciones específicas de obras de mitigación para cada localidad, según amenaza.

	Ts1	Ts2	Ts3	Ts4	Ts5	Ts6	Ts7	
	MURO COSTANERA	PARQUE COSTERO	PARQUE FLUVIAL (MANGLAR)	DUNAS DE ARENA	RELLENO DE TERRENO	MURO-DEFENSA COSTERA	COMPUERTAS	
Obras de mitigación de Tsunami								
DESCRIPCIÓN	Muros de defensa complementarios a costaneras	Cinturones verdes costeros	Zonas cubiertas de agua salada donde crecen árboles tolerantes a la sal	Montes de arena contruidos por un proceso eólico	Rellenos artificiales	Construcciones no habitables verticales	Elementos compuestos mecánicos móviles	
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> Mitigación efectiva para tsunamis de menor magnitud. Complementario con funciones y actividades urbanas. Su costo van asociados a la infraestructura vital complementaria. Su diseño puede promover al uso recreacional y turístico del borde costero. 	<ul style="list-style-type: none"> Efectivos en tsunamis de mayor magnitud. Detiene los restos de madera y otros elementos flotantes. Reducen la velocidad del flujo de agua y la profundidad. Provee de un lugar de salvación para la gente que es arrastrada por la ola. Colabora en la formación de dunas como barrera. Complementario con usos recreacionales y equipamiento no crítico. 	<ul style="list-style-type: none"> Complementario a mitigaciones para inundación fluvial. Complementario con uso recreacional y equipamiento no crítico. Menores costos por su formación natural. Requiere poca mantención. 	<ul style="list-style-type: none"> Pueden ser efectivas para tsunamis de magnitud media. Fácil implementación en casos preexistentes. Menores costos por su formación natural. Requiere poca mantención. 	<ul style="list-style-type: none"> Obras de mitigación focalizadas. Para recuperación de zonas de concentración urbana devastadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor control de su eficiencia en su modelación y diseño. Permite mitigar magnitudes altas de tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> Permite mitigar altas magnitudes de tsunami. 	
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> A mayor capacidad mitigadora son mayores las dimensiones, disminuyendo la relación con el borde. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere anchos mayores (20m-100m) para mitigar tsunamis de gran magnitud. En grandes tsunamis puede tener efectos inversos por desprendimiento de árboles. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere condiciones naturales particulares y especies adecuadas para cada zona. Dependen de condiciones naturales favorables. Requieren de la conciencia ciudadana para su conservación. Pueden ser sustraídas por su utilización como arena de construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> Dependen de condiciones naturales favorables. Requieren de la conciencia ciudadana para su conservación. Pueden ser sustraídas por su utilización como arena de construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados costos de ejecución. Peligro de resultados adversos por ejecución deficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados costos debido a las dimensiones que alcanza. Mono- funcionalidad. Difícil de complementar con otros usos. Alto impacto en la imagen urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados costos de implementación y mantención. Altos requerimientos técnicos. Mono- funcionalidad, difícil de complementar con otros usos. Alto impacto en la imagen urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> Mono- funcionalidad, difícil de complementar con otros usos. Alto impacto en la imagen urbana.
CRITERIOS DE APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Zonas en riesgo bajo y medio por Tsunami. (0-7m) Localidades con vialidad costera en primera línea. En sectores de espacio limitado que no permiten dunas ni parques. Zonas urbanas que se beneficien por su carácter de balneario o turístico 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas en alto riesgo por Tsunami. (7-10m) Disponibilidad de espacio (min. 20 m., preferentemente 40 m.) Áreas urbanas con demanda de espacios recreacionales. Condiciones naturales favorables. Desembocadura de ríos y esteros. 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas en riesgo medio y alto por Tsunami. Áreas urbanas con demanda de espacios recreacionales. Condiciones naturales favorables. Desembocadura de ríos y esteros. 	<ul style="list-style-type: none"> Zonas en riesgo medio y alto por Tsunami. Condiciones naturales favorables. Sectores con preexistencia de dunas o playas. Áreas urbanas sin beneficio directo por la alternativa de parque. 	<ul style="list-style-type: none"> Áreas urbanas densas en alto riesgo por Tsunami. Sectores focalizados devastados por tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> En localidades de gran población altamente amenazadas por tsunamis. Obras de mitigación alternativas no son efectivas. 	<ul style="list-style-type: none"> En localidades de gran población altamente amenazadas por tsunamis. Obras de mitigación alternativas no son efectivas. 	

	If1	If2	If3	If4	If5	If6	If7
	PARQUE INUNDABLE (CRECIDAS)	ESTRUCTURA SEDIMENTACIÓN	DIQUE O MURO DE CONTENCIÓN (CRECIDAS)	VEGETACIÓN Y BIO INGENIERIA (EROSIÓN)	ENROCADO (EROSIÓN)	GAVIONES (EROSIÓN)	ESPIGONES (EROSIÓN)
Obras de mitigación de Inundación Fluvial							
DESCRIPCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de almacenamiento • Sirven para recreación y/o paisajismo sin crecida. • Colaboran en capturar sedimentos • Mejora la calidad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Depresiones construidas en el mismo cauce • No alteran el medio ambiente local • Mejora aspectos de paisaje. • El tipo de vegetación puede contribuir a mitigar tsunamis 	<ul style="list-style-type: none"> • Se construyen paralelos al flujo • Se pueden aplicar en forma focalizada en un determinado sector. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivos para proteger de erosión • Colaboran en capturar sedimentos. • Las raíces aumentan la resistencia del suelo al deslizamiento. • Beneficios ambientales. • Mejoramiento de la calidad del agua. • Mejora aspectos de paisaje. • El tipo de vegetación puede contribuir a mitigar tsunamis 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivos para proteger de erosión • Provee estabilidad en el largo plazo en ríos con altas velocidades. • Diseño estructuralmente flexible • Bajo mantenimiento • Larga vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa al enrocado de contenedores • Efectivos en riberas de pendiente fuerte • Necesitan poco espacio • No dependen directamente de las características de la roca • Se pueden complementar con vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas estructuras similares a un dique pequeño • Son efectivos en curvas de ríos
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren espacios y volúmenes importantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenerse limpia y libre de desechos 	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación de áreas aguas arriba o abajo no protegidas. • Aumento del caudal máximo de la crecida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mantenimiento adecuado de la vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende de las características y disponibilidad de las rocas 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor flexibilidad estructural • Mayor capacidad técnica en instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad en el diseño y construcción • Pueden provocar socavación en los extremos de la estructura
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • En lugares con disponibilidad de espacio. • Ubicación cercana a consolidado urbano • Localidades con carácter de balneario o vocación turística. • De pref. en localidades con pob. > sobre 2000 hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complementarías a Parques inundables 	<ul style="list-style-type: none"> • En zonas donde modelaciones alcanzan áreas consolidadas de la localidad. • El riesgo existe de forma focalizada. • No existe espacio para parques inundables. 	<ul style="list-style-type: none"> • En zonas donde se superponen las amenazas de inundación fluvial y de tsunamis. • Ubicación cercana a consolidado urbano • Complementaría a parques inundables 	<ul style="list-style-type: none"> • En curvas del cauce expuestas a la erosión • En riberas que dispongan del espacio adecuado • Riberas de menor pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> • En curvas del cauce expuestas a la erosión • Espacio más reducido • Riberas de mayor pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> • No se proponen de forma preliminar
CRITERIOS DE APLICACIÓN							

	Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm5	Rm6	LI1	As1
	DRENAJE SUBTERRÁNEO	MURO CONTENCIÓN	REFUERZO PENDIENTES	SHOTCRETE O MALLAS	ESCALONAMIENTO	MURO CONTENCIÓN	LIQUEFACCIÓN	AMPLITUD SISMICA
Obras de mitigación de Remoción en masa, Liquefacción y Amplitud sísmica								
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el nivel freático de aguas subterráneas • Efectivo por la cantidad de peso que se remueve. • Puede tratarse paisajísticamente para que sea menos invasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras para soportar una masa de suelo • Pueden ser utilizados en espacio reducido sin inclinación lateral. • Minimizan la erosión del pie del talud causada por el flujo de un río. • Evitan el desprendimiento de suelos de ladera sueltos. • Existen múltiples alternativas de solución. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de rocas en pendiente • Las rocas favorecen el drenaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras en taludes escarpados • Efectivos en lugares escarpados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escalonamiento y corte. • Compatibilidad con métodos bio-técnicos de estabilización complementando con vegetación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras para contener y desviar los flujos • Detienen flujos altamente destructivos. • Pueden trabajarse paisajísticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplican las Recomendaciones Generales de Obras de Mitigación en las zonas definidas con alta Liquefacción por las modelaciones. • No existen obras a predefinidas, estas dependerán de los costos elevados por la dimensión de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplican las Recomendaciones Generales de Obras de Mitigación en las zonas definidas con alta Amplitud Sísmica en las modelaciones • No existen obras de mitigación asociadas.
FORTALEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • No evitan completamente la ocurrencia de deslizamientos de tierra. • En talud debe ser drenado de forma complementaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación adecuada del talud. • Los costos dependen de la disponibilidad de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto impacto en el paisaje y medio ambiente. • Disminuye la capacidad de drenaje del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación mínima. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa, especialmente de taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas urbanas más densas. • En laderas escarpadas 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • En acantilados o taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas rocosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Taludes con menor pendiente. • Ladera abajo de caminos o construcciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Taludes con menor pendiente. • Ladera arriba de caminos o construcciones.
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Es costoso en el caso de drenaje subterráneo. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Sectores con pendientes pronunciadas. • Ladera arriba de caminos o construcciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación adecuada del talud. • Los costos dependen de la disponibilidad de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto impacto en el paisaje y medio ambiente. • Disminuye la capacidad de drenaje del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación mínima. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • En acantilados o taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas rocosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa, especialmente de taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas urbanas más densas. • En laderas escarpadas 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Taludes con menor pendiente. • Ladera abajo de caminos o construcciones.
CRITERIOS DE APLICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Especialmente por suelos con drenaje alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Sectores con pendientes pronunciadas. • Ladera arriba de caminos o construcciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación adecuada del talud. • Los costos dependen de la disponibilidad de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto impacto en el paisaje y medio ambiente. • Disminuye la capacidad de drenaje del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una inclinación mínima. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • En acantilados o taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas rocosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa, especialmente de taludes escarpados sobre carreteras. • En áreas urbanas más densas. • En laderas escarpadas 	<ul style="list-style-type: none"> • En sectores con alta remoción en masa. • Taludes con menor pendiente. • Ladera abajo de caminos o construcciones.

	POBLACION ESTIMADA	MODELACIONES										OBRAS DE MITIGACION				PLANOS	
		RIESGO DE TSUNAMI Cota máx inundación	INUNDACIÓN FLUVIAL Modelaciones	INUNDACIÓN FLUVIAL PRC	REMOCIÓN EN MASA SISMO		REMOCIÓN EN MASA LLUVIA		TSUNAMI	INUNDACION FLUVIAL	REMOCIÓN EN MASA	TOTAL	OBRAS MITIGACION	PRIORIDAD			
					ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA									
1	Navidad	1.364	n/a	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	2	11		
2	La Boca de Rapel	2.264	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	3	6		
3	Matanzas	520	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	15		
4	Chorrillos	92	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1	26		
5	Puertecillo	360	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	3	16		
6	Las Brisas	440	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	3	17		
7	La Vega de Pupunya	2.168	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2	7		
8	Topocalma	24	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	25		
9	Pichilemu	20.740	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	3	1		
10	Cáhuil	1.652	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	9		
11	Bucalemu	1.728	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	2	10		
12	Boyeruca	300	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2	22		
13	Llico	2.292	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	14		
14	Lipimávida	1.112	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	18		
15	Iloca	2.728	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	8		
16	La Pesca	1.212	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	12		
17	Duao	2.164	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	4		
18	La Trinchera	40	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	2	24		
19	Constitución	33914 (CENSO)	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	2		
20	Las Cañas	728	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	21		
21	Pellines	872	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	20		
22	Papirúa	4.192	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	13		
23	Loanco	236	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	2	23		
24	Pelluhue	9.664	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	3		
25	Curanipe	2.996	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	3	5		
26	Cardonal	828	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	1	19		

3.4 RECOMENDACIONES A SER INCORPORADAS EN LOS PLANES PREVENTIVOS DE EMERGENCIA Y DEFENSA CIVIL.

El Plan de Emergencia es un instrumento que establece las acciones preventivas, procedimientos generales, define las tareas, operaciones y responsabilidades de toda una comunidad involucrada en situaciones de peligro, con el fin de mitigar o reducir los efectos negativos.

Determina la estructura jerárquica y funcional de las autoridades y organismos llamados a intervenir en la protección civil y establecimiento del sistema de coordinación de los recursos y medios, tanto públicos como privados, para la prevención y atención de situaciones de emergencia. Con esto se busca:

- Proteger la integridad de las personas.
- Mitigar daños materiales.
- Reducir los daños al medio ambiente.
- Minimizar las pérdidas económicas.
- Asegurar la continuidad de los procesos y sistemas.

Para poder elaborar un Plan de Emergencia es necesario tener un completo conocimiento de la comunidad y territorio involucrado, los habitantes, calidad y tipo de edificación, equipamiento comunitario, redes sociales y económicas, organizaciones comunitarias y redes de servicios.

3.4.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN CIVIL

La Protección Civil, entendida como el resguardo de las personas, así como sus bienes y medio ambiente, según La Constitución Política de la República de Chile es deber del Estado en tanto a "dar protección a la población y a la familia". Para el cumplimiento y desenvolvimiento de las acciones derivadas de esta función, se asignan funciones y atribuciones a distintos órganos de la administración de distinto nivel y contexto jurisdiccional, estructurando un Sistema de Protección Civil.

Depende directamente del Ministerio del Interior, bajo la coordinación de la Oficina Nacional de Emergencia, ONEMI, que descentraliza sus funciones en las distintas direcciones regionales, provinciales y comunales de emergencia, e integrando la participación de organismos e instituciones públicas y privadas, servicios de voluntariado y entidades organizadas de la comunidad, a través de los distintos Comités Regionales, Provinciales y Comunales de Protección Civil.

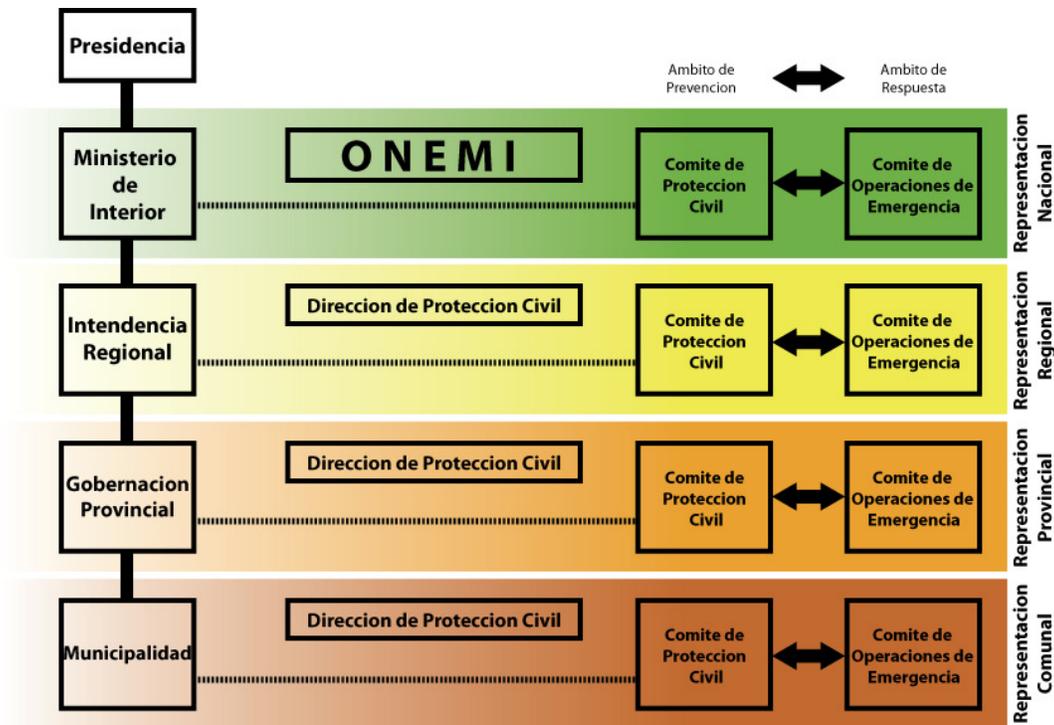


Figura 80 Esquema organizacional Sistema de Protección Civil.

Fuente: Elaboración propia en base a esquema organizacional ONEMI

Los Comités de Protección Civil son equipos de trabajo integrado por organismos e instituciones así como actores cuya competencia e interés, puedan aportar a la protección civil, y presidido por la autoridad máxima del área jurisdiccional determinada (Ministro del Interior, Intendente, Gobernador, Alcalde), quien tiene la facultad de fijar normas de funcionamiento, miembros integrantes y orden jerárquico. Además, debe estar representada cada una de las ramas de las Fuerzas Armadas y Carabineros presentes en la jurisdicción.

El Comité de Protección Civil representa los recursos humanos, técnicos y materiales para la prevención, preparación y mitigación frente a una emergencia y/o desastre natural, como órganos de trabajo permanente. Una vez ocurrido un evento adverso o destructivo, el Comité se constituye en un Comité de Operaciones de Emergencia, coordinando la respuesta y rehabilitación de la comunidad frente a esta situación.

La elaboración de los planes regionales, provinciales y comunales de emergencia depende de los Comités de Protección Civil y Dirección de Protección Civil correspondiente, siendo los planes comunales, insumos necesarios para el plan provincial y regional, debido a que por la capacidad de autogestión, y conocimiento en detalle del territorio propio, son las municipalidades quienes

pueden establecer con mayor precisión zonas de seguridad, vías de evacuación, lugares de albergue, instituciones y organismos privados de apoyo, etc. La realización de los distintos planes de emergencia está coordinada en los respectivos niveles regional, provincial y comunal, estableciendo diferentes grados de detalles en los procedimientos que describen, manteniendo la jerarquía de responsabilidades de las autoridades e instituciones que participan en los comités de emergencia de cada nivel de división territorial.

Los planes de emergencia deben ser confeccionados considerando las referencias legales y estructura básica del sistema nacional de protección civil emanadas de la Oficina Nacional de Emergencia, y a lo que establece la ley de Gobierno y Administración Regional y Orgánica Constitucional de Municipalidades, en lo que respecta a la prevención de riesgos y la prestación de auxilio en situaciones de emergencia o catástrofes.

3.4.2 DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN DE LOS PLANES DE EMERGENCIA

La situación de los planes de emergencia tanto de las regiones de O'Higgins y el Maule, y de cada una de las comunas es muy desigual, manteniendo grandes diferencias en la planificación y prevención, así como la coordinación de respuestas ante una catástrofe. Se diferencia el grado de profundidad con la que se aborda el actuar y la distribución de responsabilidades, así como los planes de evacuación y participación ciudadana.

Esta información fue recopilada a través de las direcciones regionales de ONEMI y contactándose directamente con los distintos encargados comunales de emergencia.

3.4.2.1 PLANES REGIONALES DE EMERGENCIA

Ambas regiones, del Maule y de O'Higgins, cuentan con un plan de emergencia elaborado recientemente (desde enero de 2010 para la Región de O'Higgins y julio de 2009 para la Región del Maule), realizado sobre una pauta entregada por ONEMI central, manteniendo una estructura y ciertos contenidos similares.

Esta estructura se divide en los siguientes capítulos:

- **Generalidades:** Donde se define el marco legal en el cual se desarrolla el sistema de protección civil en el país. Junto con esto, se hace una descripción básica de las regiones, en cuanto a relieve, clima, flora y fauna, población y riesgos presentes. Sin embargo, la escala que abarca este plan no permite manejar un nivel detallado del territorio.

- **Alerta:** Donde se describen algunos de los procedimientos para decretar un estado de alerta o alarma ante una amenaza, los tipos de alerta (verde, amarilla y roja) y su cobertura.
- **Comunicación:** Donde solo se describe el organigrama de sistema de protección civil, tanto a nivel nacional como regional. Se aclaran las funciones del Comité de Operaciones de Emergencia, su convocatoria y lugar en el que se debiera establecer.
- **Plan Enlaces:** Con la nomina de cada uno de los integrantes del sistema de Protección Civil Regional, cargo, rol dentro del sistema y forma de comunicación, centrándose en un número telefónico y una dirección de correo electrónico.
- **Coordinación:** Establece las responsabilidades de cada una de las autoridades, instituciones y organismos de participación regional, en el contexto de una situación de emergencia.
- **Decisiones:** en el que se especifica en una lista una serie de decisiones que se debieran tomar una vez acontecida una catástrofe, determinando cuatro periodos de acción, en los primeros 30 minutos, entre los 45 y 90 minutos, entre las 5 y 48 horas, y por ultimo a partir de las 48 horas.
- **Evaluación:** Que establece un sistema de evaluación de daños y necesidades llamado Plan DEDO\$ (Daños, Evaluación de necesidades, Decisiones, Oportunidades, Recursos).

Junto con lo anterior, los planes cuentan con una serie de anexos, creados para facilitar la acción de los agentes de Protección Civil. Se presentan fichas para el catastro de daños en edificaciones, estructuras e infraestructuras, ficha de plan DEDO\$.

3.4.2.2 PLANES COMUNALES DE EMERGENCIA

A diferencia de los planes regionales, los planes comunales de emergencia no cuentan con una pauta de realización, lo que causa que el contenido varíe en gran medida en cada una de las comunas.

En muchos casos, el plan de emergencia se limita a una nomina de las autoridades y personas involucradas en el Comité de Protección Civil, estableciendo funciones y responsabilidades, y entregando el teléfono y correo electrónico de cada uno. Otros casos, como el caso del Comunal de Navidad, complementan esta información, con una pequeña descripción socio-económica de la comuna y de las localidades principales, nombrando las amenazas que podría afectarlas, y referenciando algunas zonas de seguridad.

Por otro lado son pocas localidades que han intentando ahondar en el desarrollo de un plan de emergencia completo, que permita definir procedimientos durante una catástrofe, acciones de prevención, mitigación, reconstrucción y planimetría de planes de evacuación.

Sin embargo, ninguno plantea el estudio a fondo del tipo de amenazas a las que son susceptibles las distintas localidades, además de una metodología de trabajo constante y continua para identificar vulnerabilidades.

El estado de los Planes Comunales de Emergencia por comuna es el siguiente:

- Navidad: Según lo informado por el Director de emergencias, el plan se encuentra en revisión luego del terremoto del pasado 27 de Febrero, manteniendo una descripción básica de la situación de la comuna, demografía, situación socio-económica, y actividades productivas. Es importante destacar que cuenta con una pequeña descripción de las localidades más importantes, con algunas amenazas a las que son susceptibles, así como el establecimiento de ciertas zonas seguras y albergues.
- Litueche: Según lo informado por el Director de emergencias, Litueche cuenta con un plan de emergencia básico, centrándose en el desarrollo del Plan Enlaces, o nomina de las autoridades e instituciones que participan en el Comité de Emergencias.
- Pichilemu: El plan de emergencias se centra principalmente en las localidades costeras, dividiéndolas en sectores. Estos sectores cuentan con una zonificación de alto y bajo riesgo además de zona segura, según cotas de inundación por tsunamis. Cuentan con planos de vías de escape, plan Enlaces y la designación de albergues.
- Paredones: No fue posible obtener documentos escritos del plan de emergencia, pero según lo informado por el Director de Emergencias, el plan se encuentra en revisión, ya que no contaban con información de zonas de con amenazas, vías de escape, ni guías de procedimientos en casos de emergencia.
- Vichuquen: Según lo informado por el encargado de emergencias, existía un Plan de Emergencia, sin embargo este se perdió debido a una falla computacional y la pérdida de varios documentos luego del 27 de Febrero pasado. Cuentan solo con el Plan Enlaces.
- Licanten: El plan de emergencia se restringe solo al desarrollo del Plan Enlaces, o nomina de las autoridades e instituciones que participan en el Comité de Emergencias.
- Curepto: Cuenta con un plan de emergencias desarrollado el año 2007, con una descripción de la comuna y sus principales localidades, descripción de las amenazas a las que son susceptibles, organización y funcionamiento del comité de emergencia, y ciertos procedimientos en caso de ocurrida una catástrofe.

- Constitución: No fue posible obtener un plan de emergencia ni comunicarse con el Director comunal de emergencia.
- Chanco: Según lo informado por el Director de emergencias, El plan de emergencia se restringe solo al desarrollo del Plan Enlaces, o nomina de las autoridades e instituciones que participan en el Comité de Emergencias.
- Pelluhue: Según lo informado por el Director de emergencias, El plan de emergencia se restringe solo al desarrollo del Plan Enlaces, o nomina de las autoridades e instituciones que participan en el Comité de Emergencias.

Actualmente, según los distintos directores comunales de emergencia, todos los planes comunales de emergencia están siendo revisados y en proceso de actualización, debido a que, por lo acontecido el 27 de febrero de 2010, los planes de emergencia demostraron no reconocer la realidad de cada localidad.

3.4.3 GESTIÓN DE INFORMACIÓN, DIFUSIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA COMUNIDAD.

Una comunidad que está expuesta a la amenaza de distintos fenómenos naturales de forma recurrente, vive en permanente situación de riesgo. El desconocimiento de las amenazas por parte de la misma población, es factor importante en la ocurrencia de un posible desastre de grandes proporciones, debido a la imposibilidad de actuar frente a estas manejando herramientas adecuadas dadas solo por el conocimiento y análisis previo de las situación de emergencia.

Enfrentar las amenazas potenciando la capacidad de respuesta de la comunidad pasa necesariamente por la acción conjunta de todos los actores locales, tales como las autoridades, instituciones, comercio y población. Esto supone aumentar la capacidad de una comunidad para hacer frente a los peligros, minimizando los daños que estos puedan provocar.

Es por esto que la participación de la ciudadanía en el sistema de protección civil debe estar presente en cada etapa del planeamiento, y en constante retroalimentación, partiendo desde el momento de la elaboración de medidas, su difusión y su implementación.

3.4.3.1 RECOMENDACIONES DE PARTICIPACION EN LA ELABORACION:

Es de vital importancia que los resultados de los estudios de amenazas a las que es susceptible una comunidad sean conocidos, estudiados y comprendidos por esta misma, ya que será la primera instancia para aportar con posibles recomendaciones, provenientes del conocimiento interiorizado del territorio que habita.

Es recomendable el trabajo participativo de la comunidad, dividiéndola en áreas o grupos de trabajo (barrios, poblaciones y zonas habitacionales, zonas comerciales, productivas, educacionales, etc.). Con esto no se intenta recoger información objetiva y real, sino más bien, identificar el funcionamiento de una comunidad específica y su percepción e inquietudes con respecto a los peligros que la afectan, vulnerabilidades y capacidad de la comunidad para atender a los distintos procedimientos de emergencia, contrastándolos con la información de estudios técnicos.

3.4.3.2 RECOMENDACIONES PARA LA DIFUSION

La divulgación de un plan de emergencias tiene por objetivo informar a la comunidad acerca de las características más relevantes de las amenazas a las cuales podría estar expuesta. Allí deben estar incluidas las medidas preventivas para evitar eventos adversos, las medidas de emergencia a implementarse durante un evento, y las medidas de recuperación con miras a volver a una situación normal.

Adicionalmente el plan debe dar a conocer la estructura organizativa e informar sobre los diferentes actores involucrados y sus responsabilidades.

Para su correcta difusión, la comunidad involucrada deberá estar organizada en torno a un objetivo y respuesta en común, manteniendo una claridad en la entrega de información. Es decir, es necesario lograr un buen grado de organización dentro de zonas donde la población deba actuar de una misma forma. Por ejemplo, unidades vecinales, organizaciones barriales, colegios y establecimientos educacionales, industrias y zonas comerciales.

Es importante considerar los canales de información con los que se puede contar para mantener informada a la ciudadanía. Es necesario establecer por lo menos tres dimensiones de información de mayor importancia:

- Información Grafica: En la que se podrá contar con esquemas, dibujos, planos, mapas, y todo tipo de información grafica, que permita entender fácilmente los principales lineamientos del plan de protección civil. Esta información deberá ser entregada a todas las organizaciones vecinales, especificando las diferencias en el actuar de cada una, así como en colegios, estamentos públicos y sistemas de información turística, hoteles, residenciales, hosterías, cabañas de veraneo etc.
- Información Presencial: A través de constantes reuniones de participación ciudadana con sectores de la comunidad, manteniéndola informada de modificaciones y cambios que podrían existir con nuevos estudios y eventos ocurridos.

- Difusión en Estamentos Educativos: En los que se podrá marcar una constante preocupación sobre la preparación de la comunidad frente a algún desastre natural, entregando herramientas para una correcta respuesta. Se busca instalar el tema de la protección civil en la conciencia de los habitantes de la localidad, a través de la educación y la discusión, desde una edad temprana, estimulando la preparación y la conversación de la comunidad escolar dentro de la sala de clases, extendiéndose a cada uno de sus hogares.

3.4.3.3 RECOMENDACIONES DE PARTICIPACION EN SU IMPLEMENTACION

Dado que los eventos a los que están dirigidos los planes de emergencia tienen una baja frecuencia, y ocurren sin posibilidad de predicción, es fundamental mantener a la población informada constantemente. La herramienta más efectiva para lograr este objetivo, es el simulacro.

SIMULACRO:

Es la práctica en terreno de procedimientos de evacuación y protección civil, donde todos los miembros integrantes de una comunidad, instituciones públicas y privadas, entidades educacionales, población general y los integrantes del Comité de Operaciones de Emergencias, participan de una emergencia ficticia y prediseñada con respecto a un fenómeno determinado.

Esta actividad permite por una parte evaluar y conocer la capacidad de respuesta de la comunidad y organismos comprometidos frente a una amenaza, y reconocer las falencias y problemas que pueden presentarse en un evento real. Por otra parte, permite a la población conocer en profundidad los lineamientos del plan de emergencia.

Es el comité de Operaciones de Emergencia el responsable de atender el simulacro, aplicando técnicas y conocimientos basados en estudios y experiencias anteriores, y planteando los procedimientos establecidos en el plan de emergencia, evaluando la respuesta para su revisión y actualización.

OBJETIVOS DEL SIMULACRO²²:

- 1 Presentar una idealización simplificada de los elementos esenciales de una situación de emergencia o desastre.
- 2 Hacer explícitas las relaciones esenciales y las interacciones de los organismos involucrados en la atención de emergencias y población vulnerable.
- 3 Someter a los participantes a la toma de decisiones en situación de tensión que evidencie el impacto directo de las consecuencias del evento simulado.
- 4 Desarrollar la tasa de variación, de manera que surjan las acciones de una situación dinámica y puedan ser claramente experimentadas.

BENEFICIOS DEL SIMULACRO²³:

Las simulaciones y los simulacros por fenómeno natural o tecnológico que genera desastre, presentan los siguientes beneficios:

- 1 Ayudan a evaluar Planes de Emergencia desarrollados por el Comité de Operaciones de Emergencia de cada localidad.
- 2 Evalúan la capacidad de respuesta de los organismos responsables de brindar atención en la emergencia (Comité de Emergencia, municipio, ONEMI y sus direcciones regionales, provinciales y comunales, Carabineros, Fuerzas Armadas e instituciones de la administración pública local principalmente).
- 3 Proporcionan entrenamiento a los responsables y población involucrados.
- 4 Mejoran la coordinación interinstitucional y relaciones con la población vulnerable.
- 5 Demuestran visiblemente el compromiso de las autoridades y población.

²² “Plan de Operaciones del Comité Regional de Defensa Civil de San Martín para Simulacro de Sismo”, Sistema Regional de Defensa Civil, San Martín, Perú, 2008.

²³ “Plan de Operaciones del Comité Regional de Defensa Civil de San Martín para Simulacro de Sismo”, Sistema Regional de Defensa Civil, San Martín, Perú, 2008.

FINALIDADES²⁴:

- 1 Familiarizar a los responsables con el proceso de toma de decisiones, en circunstancias de incertidumbre y en presencia de una información confusa e inexacta, así como la conducta a seguir por la población involucrada.
- 2 Estimular a los responsables a realizar análisis crítico de la información recibida en relación al desastre.
- 3 Reconocer la necesidad de contar con una información adecuada y confiable para tomar decisiones.
- 4 Fomentar el análisis de costos y los problemas prácticos de implementación, en la situación simulada, por falta de recursos que sigue a un estado de desastre.
- 5 Analizar los problemas que surgen en el manejo de brigadistas y personal voluntario.
- 6 Reconocer los problemas de coordinación intersectorial implícitos en la ayuda humanitaria y manejo de la emergencia.
- 7 Indicar la importancia que tiene, durante un desastre, la toma de decisiones en forma coordinada entre los organismos competentes.
- 8 Reconocer la necesidad de planificación y preparación previa para una respuesta frente al desastre.

CÓMO IMPLEMENTAR UN SIMULACRO:

Creación de un escenario determinado, con una amenaza específica, un origen y efectos determinados en un día y hora programada. Esto quiere decir que se deberá tener presente a qué se está enfrentando para poder evaluar la eficacia de la respuesta. Se procederá con un sistema de alarma oficial.

Este evento será una invitación abierta a la participación de toda la comunidad interesada, tomando en cuenta oficinas, industrias, instituciones y principalmente estamentos educacionales. Es necesario repetir estos simulacros por lo menos una vez al año, aunque sea en sectores

²⁴ “Plan de Operaciones del Comité Regional de Defensa Civil de San Martín para Simulacro de Sismo”, Sistema Regional de Defensa Civil, San Martín, Perú, 2008.

menores o zonas de una comunidad, para que el resto de la comunidad observe los resultados y se mantenga siempre en la conciencia de los habitantes el concepto de la protección civil.

3.4.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y ALERTA

3.4.4.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN²⁵

Las telecomunicaciones son un elemento fundamental en todas las fases de la gestión de catástrofes. Sin embargo, estas son útiles en la medida en que la comunidad bajo amenaza tiene acceso a ellas. Durante un evento catastrófico, muchas de las localidades vulnerables suelen quedar aisladas de los sistemas de comunicación, ya sea porque carecen de la infraestructura necesaria para establecer canales de comunicación previamente definidos, o por la imposibilidad de utilizar los sistemas de comunicación existentes debido al evento catastrófico mismo.

Disponer de un sistema de comunicación confiable y seguro en el acontecimiento de una catástrofe es indispensable para dar una efectiva respuesta a cualquier amenaza, permitiendo neutralizar o disminuir los efectos negativos derivados de la catástrofe. Además de esto, es fundamental para el funcionamiento del sistema de defensa civil y seguridad tanto de la comunidad como de los responsables la protección y salvamento.

Con el fin de afrontar un acontecimiento catastrófico, es necesario el establecimiento de una norma que estandarice y regule las redes de telecomunicación, posibilitando el intercambio de información en tiempo real de manera eficiente, manteniendo los nexos entre la comunidad afectada, los encargados de la administración pública y protección civil y el cuerpo técnico que entrega directrices del comportamiento y desarrollo de la amenaza.

Redes de Comunicación Pública:

- Red Telefónica Conmutada: Corresponde a la red telefónica ordinaria que permite la transmisión de voz, además de transmisión de datos como en el caso del fax o el acceso a internet a través de modem, mediante la conexión física por un sistema de cables conectados a una central por medio de un tendido suspendido por postes.

La vulnerabilidad de este sistema de comunicación radica principalmente en la fragilidad del tendido a través de postes, ya que la ruptura de la red en cualquier punto, interrumpirá el circuito, impidiendo la comunicación. Esta vulnerabilidad podría reducirse usando un sistema subterráneo de cables. Una de sus ventajas que presenta es su

²⁵ “Manual de Telecomunicaciones de Emergencia”, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Suiza, 2005.

independencia del sistema eléctrico, lo que permite su funcionamiento aun en caso de corte general de la red eléctrica.

Las centrales telefónicas locales constituyen un elemento básico en su funcionamiento. El alto riesgo de que sufran desperfectos durante una catástrofe debido a una sobrecarga dada por el aumento excesivo de llamadas simultáneas, o los mismos daños que puedan sufrir debido a evento mismo, las hacen elementos muy vulnerables frente a una catástrofe.

- Telefonía Móvil: Funciona a través de una extensa red de estaciones radioeléctricas situadas en tierra. Estas estaciones están situadas en lugares donde el volumen del tráfico de llamadas justifica su instalación, es decir, en zonas principalmente urbanas, haciendo más difícil la comunicación en zonas distantes y rurales.

La capacidad o número de canales de tráfico asignado a una estación admite un máximo acotado de llamadas, por lo que los sistemas móviles de telefonía afrontan la misma dificultad de congestión que la red conmutada en caso de una catástrofe. Los problemas de congestión local constituyen una deficiencia muy grave de los sistemas celulares durante un caso de emergencia y es por ello que este sistema no debe considerarse de ninguna manera un modo de comunicación esencial para la gestión de una catástrofe.

Las estaciones radioeléctricas están conectadas a las centrales móviles mediante líneas fijas o enlaces de microondas. Si estos medios sufren algún daño, la estación no podrá seguir funcionando de forma autónoma. Las estaciones también son vulnerables puesto que se alimentan de la central eléctrica. Cuando ésta falla, la estación solo podrá seguir funcionando mientras dure la carga de las baterías, es decir, alrededor de 8 horas.

La mayoría de las centrales móviles ofrecen una prestación denominada «capacidad preferente». Si en la cuenta de un usuario está prevista esta facilidad, su llamada será aceptada y se rechazará la efectuada por otro usuario. Sin embargo, su aplicación responde a un mandato superior sobre el operador telefónico, debido a las implicancias que puede tener el uso de esta facilidad.

El servicio de mensajes cortos (SMS) y el servicio general de radiocomunicaciones por paquetes (GPRS) son métodos aprovechados por el sistema mundial para comunicaciones móviles para transmitir mensajes en forma de texto u otros tipos de datos multimedia como el correo electrónico. Estos métodos no hacen uso de canales de tráfico vocal para transmitir el mensaje y tienen además limitaciones de capacidad. Como son métodos de almacenamiento y retransmisión, en caso de congestión la mejor solución es hacerlos funcionar lentamente y no bloquearlos por completo.

Una de las utilizaciones que podría resultar útil en el contexto de una catástrofe es una prestación conocida como difusión celular, que permite transmitir trenes de texto sólo en sentido descendente de modo que todos los aparatos móviles en esa célula puedan recibirlo simultáneamente. No hay riesgo de bloqueo ya que no emplea un canal de tráfico y, por consiguiente, resulta muy útil para el envío de un gran volumen de mensajes, por ejemplo, los avisos de alarma dirigidos al público en general.

- **Terminales y Teléfonos Satelitales:** Existen diferentes sistemas que difieren en sus tecnologías y aplicaciones, sin embargo para el usuario la diferencia radica en el tamaño del equipo y la cobertura.

El sistema Inmarsat es un sistema de terminales móviles que consiste en una conexión entre el terminal del usuario y un satélite, un enlace del satélite a una estación terrestre y las conexiones entre esta última y la red pública terrenal. Consta de satélites 4 geostacionario. Los terminales deben configurarse a través de una antena instalada a cierta distancia, de manera que pueda establecer contacto con el satélite.

Los sistemas de Telefonía Satelital o servicios de comunicaciones personales móviles mundiales por satélite (GMPCS) se utilizan equipos muy similares a los teléfonos celulares terrenales. Son adecuados particularmente cuando se exige un alto grado de movilidad y, aunque requieren una conexión de visibilidad directa con respecto a uno o varios satélites, no es necesario alinear con precisión sus antenas casi siempre omnidireccionales. Los distintos sistemas ofrecen ventajas particulares pero también tienen restricciones específicas relativas a sus aplicaciones en las telecomunicaciones de emergencia.

La mayoría de los sistemas funcionan con procedimientos de facturación mediante tarjetas SIM (módulo de identidad del usuario), que facilitan el control y la atribución de los costos de comunicación y de itinerancia internacional por las redes GSM con las que los proveedores de servicio hayan establecido los correspondientes acuerdos. Como las tarifas son relativamente altas, particularmente las que corresponden a las conexiones entre los terminales de satélite de distintos sistemas, las redes públicas por satélite resultan convenientes sólo para la fase de respuesta inicial, pero no deberían utilizarse como medio principal de comunicación en las operaciones a largo plazo.

Sistema de Radiocomunicación:

Su amplia gama de actividades y la habilidad de los operadores hacen que el servicio de radioaficionados sea sumamente valioso en prácticamente todos los sectores de las telecomunicaciones de emergencia. Se indican a continuación algunas de sus características:

- Hay una gran cantidad de estaciones de radioaficionados funcionando en todas las regiones y en casi todos los países del mundo que constituyen una red independiente de todas las demás.
- Gracias a la destreza que adquieren, estos operadores se convierten en un recurso humano esencial para las telecomunicaciones de emergencia. Muchos de ellos ponen su habilidad y experiencia al servicio de la ayuda humanitaria, ya sea de manera temporal como voluntarios de organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, o como profesionales de las telecomunicaciones de emergencia en unidades de organismos internacionales o de otras instituciones dispuestos a intervenir en casos de catástrofe.
- Los programas de formación y los ejercicios de simulación de emergencias concebidos por algunas sociedades nacionales de radioaficionados se aplican a todos los sectores de las telecomunicaciones de emergencia y pueden adaptarse al entrenamiento de todos los posibles usuarios de las telecomunicaciones en situaciones de emergencia.
- La documentación técnica, los textos de carácter general en la materia y los medios electrónicos puestos a disposición del servicio de radioaficionados son recursos excepcionales para facilitar información acerca de la manera de resolver problemas con medios a menudo muy limitados y posiblemente improvisados.

En casos de una amenaza, se utilizan servicios de radiocomunicaciones para, entre otras cosas, la predicción de catástrofes y su detección, la comunicación de alertas y la prestación de servicios de socorro. En determinados casos, cuando la infraestructura de las telecomunicaciones «alámbricas» está parcial o totalmente destruida a causa de una catástrofe, sólo puede recurrirse a los servicios de radiocomunicaciones para efectuar las operaciones de socorro.

3.4.4.2 ALERTA DE AMENAZAS²⁶

Niveles de Alerta:

- Alerta Temprana: Constituye un estado de reforzamiento de las condiciones de vigilancia y atención, mediante el monitoreo preciso y riguroso de las condiciones de riesgo, como también de una amenaza en particular y las respectivas condiciones de vulnerabilidad asociadas a esa amenaza, para actuar con la máxima oportunidad factible, en caso de derivar en un evento destructivo.

²⁶ “Plan Regional de Emergencia Región de O’Higgins” y “Plan Regional de Emergencia Región del Maule”, Direcciones Regionales de Protección Civil, Chile, 2010.

- Alerta Amarilla: Se establecerá cuando un evento amenace crecer en extensión y severidad, permitiendo suponer que no podrá ser controlado con los recursos normales o locales habituales dispuestos para estos efectos y/o amenace la vida, salud, bienes y ambiente, debiendo alistarse los recursos necesarios para intervenir de acuerdo a la evolución del evento.
- Alerta Roja: Se establecerá cuando el evento crece en extensión y severidad y, por tanto, amenaza la vida, salud, bienes y ambiente, requiriendo de una movilización total de los recursos necesarios y disponibles para actuar y mantener el control de la situación.

Extensión de las Alertas: Los recursos comprometidos y área de aplicación de una Alerta se definen por la Amplitud y Cobertura.

- Amplitud de la Alerta: Puede abarcar a todos los servicios y organizaciones del Sistema Regional de Protección Civil o limitarse sólo a aquellos más directamente involucrados en el evento.
- Cobertura de la Alerta: Puede abarcar a una o más comunas de la Región, como también a una o más Provincias.

El sistema de alerta de amenazas distingue entre eventos destructivos de manifestación lenta frente a los de manifestación súbita, diferenciando los procedimientos para decretar un nivel de alerta y la manera de actuar frente a estos eventos.

Procedimientos para Eventos Destructivos de Manifestación Lenta: Una vez establecida una Alerta, esta se comunicará a la totalidad del Comité Regional de Protección Civil y Emergencia, según el Plan de Enlace del Plan Regional de Emergencia. La comunicación se efectuará a los representantes institucionales del Comité, quienes deberán retransmitirla internamente en sus respectivos servicios y/o instituciones según sus propios planes operativos de respuesta.

Ante la inminencia o real ocurrencia de una situación de emergencia, reacciona a lo menos, un organismo o institución componente del Sistema Regional de Protección Civil, emitiendo un informe preliminar. El responsable del servicio involucrado analiza la información relativa a la situación y si determina que la capacidad de respuesta con los recursos disponibles se verá sobrepasada, informará de la situación al Director de Protección Civil y Emergencia del nivel correspondiente.

El Director de Protección Civil y emergencia coordina la activación del sistema, teniendo presente que los organismos y/o servicios directamente involucrados en la atención de la emergencia ejecutarán automáticamente procedimientos de respuesta local, como también medidas preventivas.

El Director de Protección Civil y Emergencia asumirá la coordinación del Plan de Respuesta específico en aplicación, teniendo presente en forma permanente, el informar a la Autoridad sobre la situación, los requerimientos y medidas adoptadas.

Controlada la situación, evaluaciones sucesivas permiten desactivar la estructura del sistema de respuesta, en forma escalonada.

La situación de emergencia se considera superada cuando los organismos y/o servicios del Sistema Regional de Protección Civil retornan a sus actividades habituales, no siendo necesaria la permanencia de una autoridad de coordinación superior. Si la situación ha requerido el establecimiento de un nivel de Alerta Temprana o superior, se deberá emanar un documento de similares características para la desactivación del sistema.

Procedimientos para Eventos Destructivos de Manifestación Súbita: Un evento destructivo de gran impacto sobre la población y/o bienes materiales e infraestructura, constituye una base suficiente para activar el Comité de Operaciones de Emergencia y el Centro de Operaciones de Emergencia.

En caso de eventos destructivos de gran severidad y extensión, como por ejemplo un terremoto, la señal o alerta es el evento mismo, generando una autoconvocatoria a los miembros del Comité Regional de Operaciones de Emergencia en el Centro de Operaciones de Emergencia.

En el caso de eventos limitados o circunscritos a un área de impacto puntual, o cuando su activación corresponda a necesidades según la evolución de una emergencia de generación lenta, la señal de alerta fluye por los medios de comunicaciones previstos en el Plan de Enlace del presente Plan.

Controlada la situación, evaluaciones sucesivas permiten desactivar el Centro de Operaciones de Emergencia y la estructura del Sistema de respuesta en forma escalonada.

Cuando la Autoridad correspondiente estipula cumplido el objetivo para el cual se activó el Centro de Operaciones de Emergencia, se considera superada la situación de emergencia, descentralizándose la toma de decisiones y canalizándose la información por los conductos regulares.

Si la situación ha requerido el establecimiento de un nivel de Alerta Amarilla o superior, se deberá emanar por parte de la Autoridad correspondiente la Resolución Exenta que permita efectuar la desactivación del sistema.

3.4.5 PLANES DE EVACUACIÓN.

Entre los diferentes contenidos que deban tener los planes de emergencia, en el presente informe se han desarrollado con mayor énfasis aquellas recomendaciones dirigidas a los planes de evacuación en caso de tsunami, dado el riesgo que esta amenaza implica para las vidas humanas, y lo determinante que es la correcta evacuación en salvar esas vidas.

3.4.5.1 ESTRUCTURA DE VÍAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS

En el plan de evacuación, es clave la definición de vías de evacuación y que éstas conformen un sistema de calles integrado y continuo, accesible desde todos los sectores con potencial de ser afectados por tsunami dentro de la localidad, y que conecten de la manera más directa posible con las zonas seguras. Este sistema depende tanto de la estructura vial de la localidad como de la topografía.

En el presente informe, se proponen vías de evacuación y zonas seguras para aquellas localidades que presentan amenaza de tsunami, según una estructura de vías longitudinales, vías ascendentes, vías principales, nodos y zonas seguras.

- a. Vías ascendentes: Son aquellas vías cuyo trazado es contra la pendiente y perpendicular a la cota de amenaza de tsunami, por lo tanto son las vías que permiten que la población se aleje de la amenaza de la manera más directa posible.
- b. Vías principales: Entre las vías ascendentes, son aquellas vías que conectan directamente con una zona segura.
- c. Vías longitudinales: son aquellas vías que van paralelas a la modelación de la amenaza de tsunami, por lo tanto no alejan a la población de la amenaza, sino que sirven para acceder a una vía ascendente.
- d. Nodos de encuentro: Son aquellos cruces donde se encuentran diferentes vías de evacuación (por lo general, una longitudinal y una ascendente), por lo que son lugares donde la población evacuada deberá cambiar de calle para continuar evacuando.
- e. Zonas Seguras: Son aquellas zonas que se encuentran fuera de amenaza, que pueden acoger a la población evacuada en caso de amenaza de tsunami mientras sucede el evento.

Dentro de las localidades analizadas, y según la estructura vial y topografía de cada una, las diferentes propuestas de vías de evacuación y zonas seguras se pueden clasificar en dos tipos, según la estructura del sistema:

Tipo de sistema de evacuación A: Extensión ortogonal. Por ejemplo, Constitución y Pichilemu tienen este tipo de sistema. Se reconoce una trama de calles por lo general ortogonal, dentro de la cual se pueden reconocer algunas calles jerárquicas, de entre las cuales se proponen las vías de evacuación longitudinales y ascendentes. Ver Figura 81.

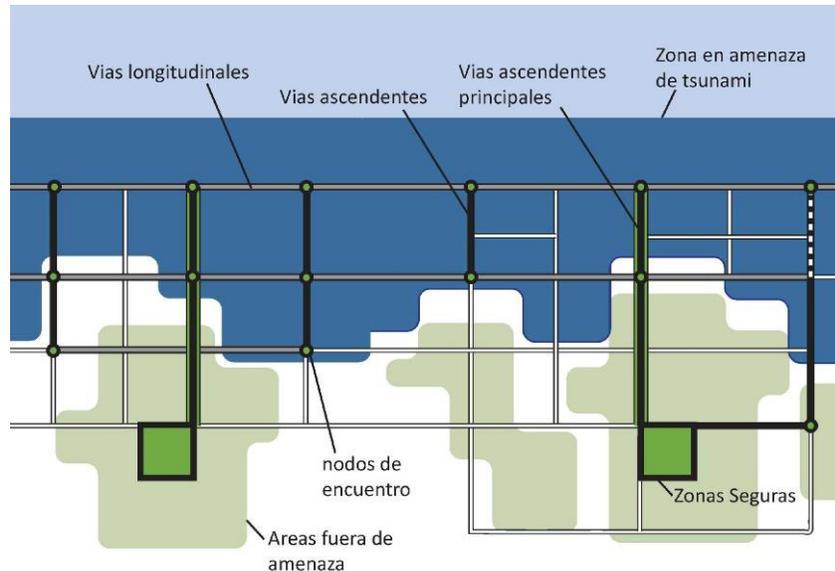


Figura 81. Esquema Plan de evacuación. Sistema tipo A.

Fuente: elaboración propia.

Tipo de sistema de evacuación B: Extensión longitudinal. Por ejemplo, Iloca y Duao. Son aquellas localidades que se desarrollan a lo largo de una vía paralela a la costa, en las que por lo general las viviendas se localizan en una zona baja, entre la costa y laderas de alta pendiente. En muchos casos no hay vialidad que suba por las laderas hacia áreas fuera de riesgo. Para estos casos, se proponen vías de evacuación peatonales, con trazados en zig-zag para reducir la pendiente – idealmente entre 8 y 12%). Ver Figura 82.

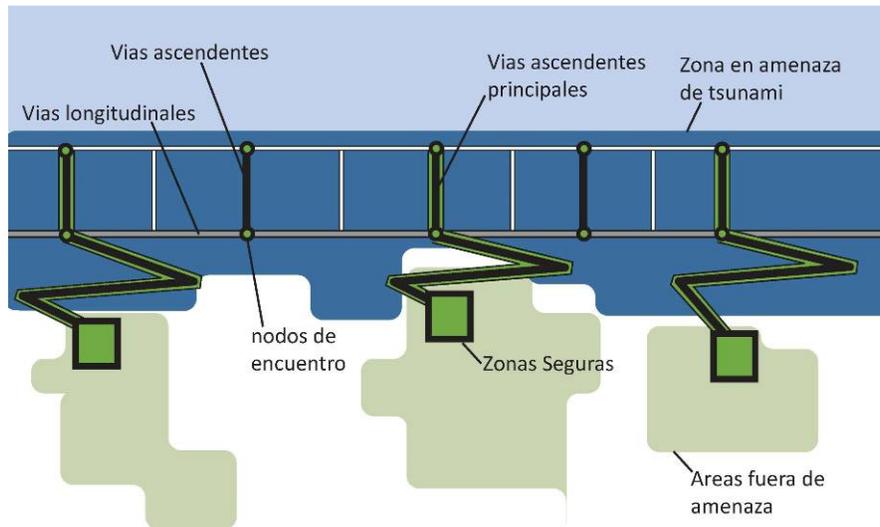


Figura 82. Esquema vías de evacuación. Sistema tipo B.

Fuente: elaboración propia.

3.4.5.2 Metodología utilizada para planos de vías de evacuación y estimación de tiempos de evacuación

Para la construcción de la propuesta de plan de evacuación y zonas seguras para las localidades estudiadas, se utilizó el análisis de red proporcionado por el SIG Arc-GIS, en el cual a través del manejo de criterios y parámetro controlados, es posible obtener una zonificación automática, generada a partir de tiempos de evacuación de acuerdo a factores topográficos.

Al respecto es importante destacar que esta metodología se presenta como una herramienta de uso preliminar que permite establecer tiempos generales de escape, así como también las zonas seguras y vías de evacuación, no obstante su utilidad debe ser complementada por otros procedimientos y metodologías, tales como análisis de flujos y revisiones de materialidades anexas a los ejes con impedancias.

A continuación se explican los procedimientos metodológicos, las herramientas usadas, los insumos y los productos obtenidos, organizados por etapa y por objetivos del estudio.

ETAPA I: PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Objetivo 1: Construir y actualizar la información de ejes viales, de las localidades del borde costero.

- **Conectividad de la Red**

Para la preparación de los datos fue necesario recopilar información de vialidad, correspondiente a los diagnósticos de las diferentes localidades. Con el fin de obtener los insumos necesarios para preparar los datos antes de ser procesados en el análisis de red.

Para esto fue necesario transformar la vialidad existente en los PRC, en ejes viales, digitalizando una línea central entre cada borde de calle y en el caso de las localidades que no tenían red vial, se digitalizó sobre la fotografía aérea o la imagen satelital. Este procedimiento se realizó a través de la herramienta *Editor/Sketch* del SIG Arc-GIS 9.3 y se obtuvo como resultado los ejes viales de las 26 localidades en formato Shape y proyección UTM Datum WGS84.



Figura 83. Ejes viales y nodos.

Fuente: Elaboración Propia.

Las correcciones realizadas se establecen considerando una política de conectividad por nodo final y se verifican y corrigen las discontinuidades de las 26 localidades estudiadas.

Una vez digitalizados los ejes viales existentes, para hacer extensiva la red a otros lugares donde no existen caminos pero sí el tránsito de personas, se digitalizaron los senderos y vías imaginarias en las playas, los cuales se conectaron a los ejes viales existentes. Este último paso se realizó con la misma herramienta utilizada anteriormente (y considerando la misma política de conectividad) y se obtuvo como producto los ejes viales y los senderos incluidos en una misma cobertura (ejes viales II). Con la vialidad conectada se comenzó a preparar la red para el análisis de redes, esto se realizó a través de la herramienta *Topology/Planarize* del SIG Arc-GIS 9.3, donde cada línea intersecada por otra se transformó en un arco independiente con su propio atributo y cada intersección en un nodo.

- **Definición de Impedancia**

El siguiente paso a seguir fue insertar impedancias de tiempo de desplazamiento en cada arco, para ello primero se debió intersecar los ejes viales con la pendiente y esta ultima debió ser procesada anteriormente.



Figura 84. Ejes viales representados según pendiente.

Fuente: Elaboración Propia.

A través de la revisión bibliográfica de diversos planes de emergencia y parámetros de velocidad de desplazamiento en distintas pendientes, se seleccionaron dichos parámetros y se proyectaron a través de una línea de tendencia y una ecuación exponencial, con el fin de obtener valores de velocidad de desplazamiento para la totalidad de las pendientes obtenidas en el área de estudio. Para sintetizar la información anteriormente recopilada, se agruparon en rangos las pendientes y se promediaron las velocidades de cada rango obteniendo un valor por rango. El producto obtenido en esta fase fueron los valores de velocidad de desplazamiento en las distintas pendientes del terreno. El cual se muestra a continuación.

Pendiente G°	km/h
< 5,6	4,48
5,6 - 8	3,29
8 -11,2	2,72
11,2 - 14	2,17
14 - 30	1,12
> 30	0,08
Formula: $5,3724 * e^{(-0,0757/2 * X)}$	

Tabla 97 Velocidades de Desplazamiento Según Pendiente

Fuente: Elaboración Propia.

Seguidamente se calcularon las pendientes del terreno a través de la confección de un modelo de pendientes con las curvas de equidistancia de 2 metros, realizado en el SIG Arc-GIS 9.3 y con la herramienta *3D Analysis /Surface Analys*, cuya resolución se estableció en 2 metros el píxel. Estos valores fueron posteriormente reclasificados con la herramienta *3D Analysis/Reclasify*, y transformados a polígono con *Conversion/From Raster*. Finalmente se insertaron los valores de velocidad de desplazamiento en pendiente a los polígonos de pendiente.

Para seguir con el proceso de preparación de la red, las coberturas de Ejes viales corregido y los polígonos de pendiente de cada localidad fueron intersecados, utilizando la herramienta *Analysis/Overlay/intersect* del SIG Arc-GIS 9.3, obteniéndose como resultado las velocidades de desplazamiento en cada eje vial. Esta última cobertura fue posteriormente corregida manualmente en los lugares donde la pendiente no era condescendiente con la pendiente real del camino. Finalmente a la cobertura Ejes viales, se le agregó un nuevo campo calculando los tiempos de desplazamiento a partir de la velocidad de desplazamiento y la longitud de cada arco, con la siguiente formula.

$$Tiempo = (([Shape_Length] + 1000) \div [velocidad]) \times 3600$$

Con esto se obtiene el tiempo para cada uno de los arcos de la cobertura, posibilitando la carga de impedancias para el análisis de redes

- **Etapla II Modelación de Impedancias**

Objetivo 2: Definir Áreas de tiempos de evacuación, considerando áreas de servicio, a partir del peor escenario modelado para el evento del 27 de febrero de 2010.

- **Sistematización de la Información**

Uno de los últimos procedimientos para finalizar la preparación de los datos fue la transformación de las coberturas en formato shape a formato GeoDatabase (GDB). En el SIG Arc-Catalog, en el cual se creó un archivo GDB con el nombre de cada localidad y se importaron los Shapes utilizados como insumo descritos anteriormente y se organizaron dentro de una data set llamado “base”. Consecutivamente, se crearon otros datasets para organizar las coberturas que se generaron posteriormente. La estructura del GDB se muestra a continuación.

GDB	Dataset	Feature Class
LOCALIDAD	Base	Coberturas obtenidas desde los planos diagnóstico del proyecto
	Modelación	Coberturas creadas a partir de las base y que son de exclusivo funcionamiento para la modelacion
	Plan Evacuación	Coberturas generadas para ordenar las vías de evacuación
	Trabajo	Coberturas que se generan en los procesos intermedios, pero que no van en la cartografía

Finalmente, se crea la Red para ser utilizada en el análisis usando como base la cobertura de ejes viales IV. Esta Red creada en el SIG Arc-Catalog a través de la herramienta New Geodatabase/New, da como resultado un archivo llamado “Modelacion_ND”, el cual esta compuesto de los Ejes viales IV, los Junctions (intersecciones) y los Edges (ejes de la red).

Con este último procedimiento se finaliza la preparación de los datos y se da paso al procesamiento de estos, a través de la modelación de los tiempos de evacuación.

- **Cálculos de Impedancia**

Siguiendo con el desarrollo del segundo objetivo, se procedió a calcular las áreas de servicio, que en este caso representaron los tiempos de evacuación, Recorriendo desde toda el área cubierta por la RED (Modelación_ND) hasta las zonas de seguridad (ver capítulo de plan de evacuación) y generando así áreas de evacuación en 10 minutos, en 15 minutos y entre 15 minutos y 60 minutos. Para realizar este procedimiento se utilizó la herramienta *Network Analysis* del SIG Arc-GIS 9.3, en la cual se ingresaron las zonas seguras (shape de puntos) como facilities y se asignaron criterios para la modelación como el buffer de 100 metros para cada arco de la RED, la geometría de polígonos fuese en forma de anillos (sin intersecciones) y se ingresaron los tiempos de evacuación utilizando como base el campo “Tiempo” de la RED siendo estos de 600 segundos, 900 segundos y 3.600 segundos. Una vez ajustados todos los parámetros de la modelación, se ejecuta el comando *Solve*, y la modelación genera los polígonos (modelación 1). En esta etapa se obtiene como productos las áreas de servicio, las cuales no poseen formato puesto que es necesario exportarlas a shape.

Modelación Tiempos de Evacuación

Tiempos de evacuación

- Zona de evacuación en 10 min
- Zona de evacuación en 15 min
- Zona de evacuación mas de 15 min
- Zonas seguras

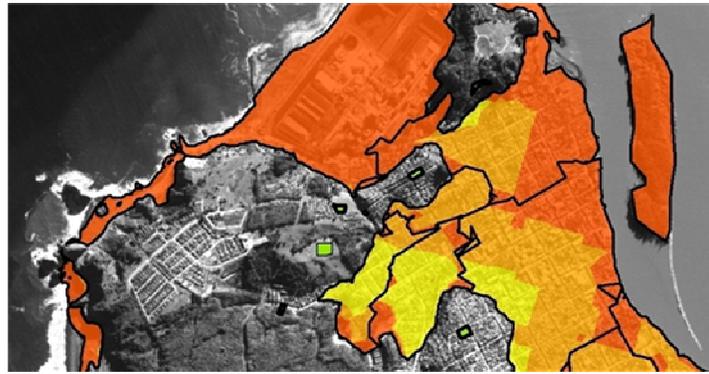


Figura 85. Zonas según modelación de tiempos de evacuación.

Fuente: Elaboración Propia.

Debido a que no todas las localidades poseen una eficiente interconectividad en sus ejes viales, seguidamente se procedió a generar una propuesta de caminos nuevos en las localidades, enfocados principalmente a conectar de mejor manera la RED y de unir la localidad con las zonas de seguridad. Este proceso se realizó mediante la herramienta *Editor/Sketch*, utilizando como insumo el plan regulador comunal al que pertenece cada localidad, las áreas de servicio y los Ejes viales. El producto obtenido fue una cobertura de vías propuestas la cual fue ingresada en el GDB dentro del Dataset “Plan Evacuación”.

El siguiente paso fue incluir las vías propuestas a los ejes viales, para ello primero se cruzaron con el polígono de pendientes con el mismo procedimiento usado para obtener los ejes viales, luego se copiaron y se pegaron dentro de la cobertura de Ejes viales y finalmente se corrigieron sus impedancias de tiempo.

Para concretar el procesamiento de datos, se procedió a calcular nuevamente las áreas de servicio, pero ahora utilizando la cobertura de Ejes viales corregida con los anexos derivados del plan de evacuación. No fue necesario rehacer la RED, ya que con la herramienta *Build entire network dataset* la RED se autocorrigió en base a la nueva edición realizada. Una vez reconstruida la RED se ejecutó el comando *Solve* y se generaron las nuevas áreas de servicio (modelación 2), las cuales se exportaron como cobertura dentro del GDB al Dataset “trabajo” con el nombre de “Zonas_tiempo”. El último paso para concretar este objetivo fue intersecar el producto anteriormente obtenido con el área de inundación de tsunami modelada para el peor escenario, obteniéndose así las “Áreas afectadas” las cuales contienen los polígonos los cuales zonifican las zonas de evacuación en 10 minutos, 15 minutos y entre 15 minutos y 60 minutos, dentro del área afectada por el tsunami.

A modo de resumen se detalle un esquema metodológico de lo anteriormente expuesto, en conjunto con el plan de evacuación y su respectiva definición de zonas seguras y vías de evacuación.

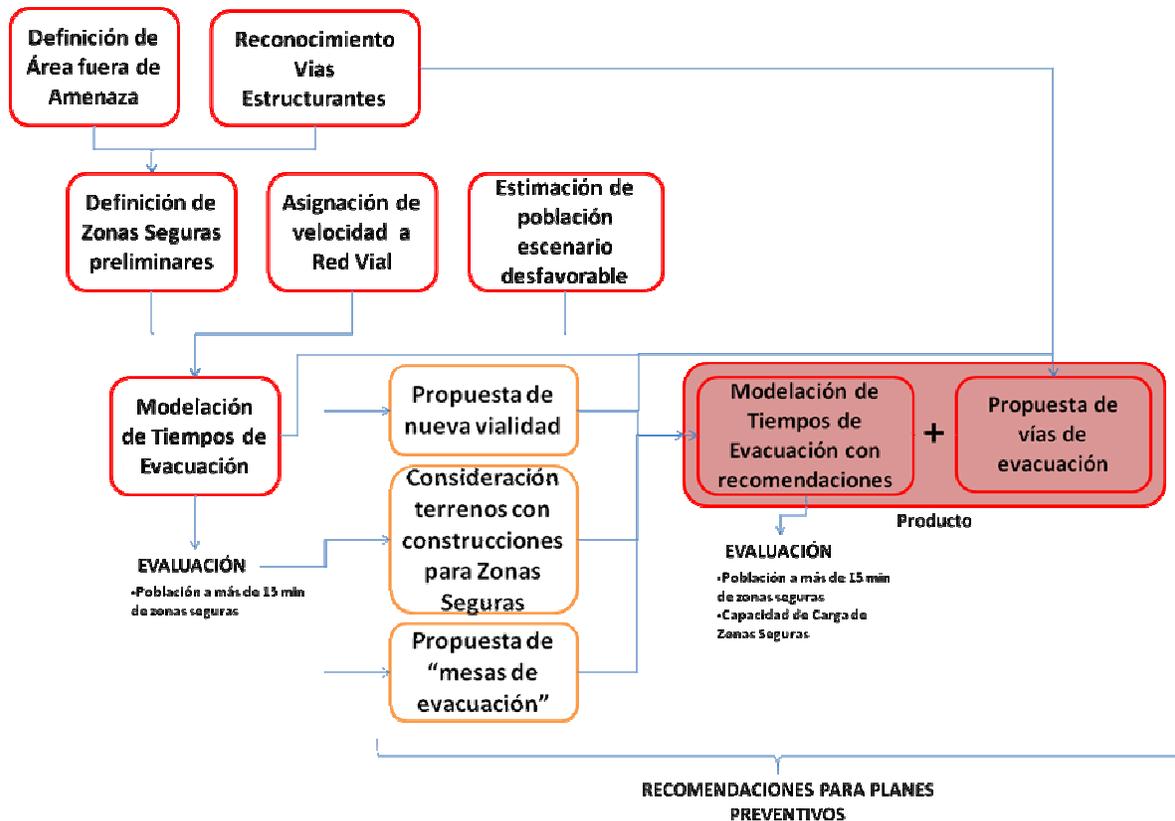


Figura 86. Metodología tiempos evacuación y zonas seguras

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5.3 RECOMENDACIONES PARA VÍAS DE EVACUACIÓN

Si bien en el presente estudio se definen y recomiendan zonas seguras para aquellas localidades que presentan amenaza de tsunami, éstas se proponen como una referencia, y es recomendable que sean definidas por los Comité de Protección Civil de cada Comuna debido al conocimiento en detalle del territorio propio.

VÍAS DE EVACUACIÓN ASCENDENTES Y PRINCIPALES.

a. TRAZADO.

Para definir cuáles serán las vías de evacuación ascendentes, se debieran utilizar, al menos, los siguientes criterios:

- Priorizar vías jerárquicas según PRC, ya que éstas casi siempre presentan perfiles más anchos que las otras calles, lo que implica mayor capacidad de acoger personas evacuadas, y son en general más reconocibles por la población.
- Priorizar vías que conecten directamente con las zonas afectadas por la amenaza de tsunami donde se concentre población.
- Priorizar vías que en la menor distancia posible, conecten con territorio sobre la cota 20.
- Que presenten pendientes no mayores a 12%. En muchos casos, debido a la pendiente del terreno es necesario definir un trazado en zig-zag para lograr pendientes menores a 12%. Esto es más recomendable que proponer escaleras, ya que permite la evacuación de personas en sillas de rueda o con coches, y es más fácil para ancianos.

b. CARÁCTERÍSTICAS.

El mejoramiento de la estructura vial seleccionada como vías de evacuación ascendentes resulta clave, tomando en cuenta la diferencia que existe entre las distintas localidades dentro del trazado urbano.

Al examinar el perfil de las distintas calles ascendentes que se puede encontrar dentro de las localidades, se plantean distintas modificaciones que permitan identificarlas como las vías prioritarias para acceder a las zonas de seguridad. Las tipologías presentes en estas localidades se pueden clasificar en tres, dependiendo de su tamaño e importancia dentro de la trama como se ve en el cuadro XX.

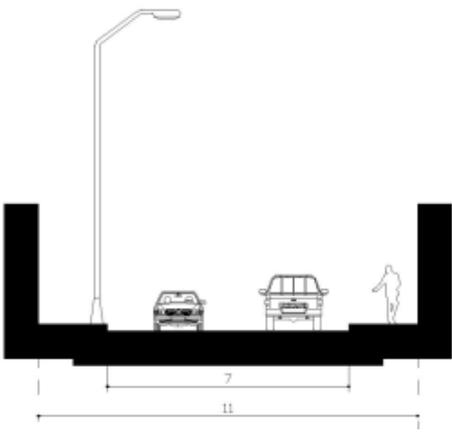
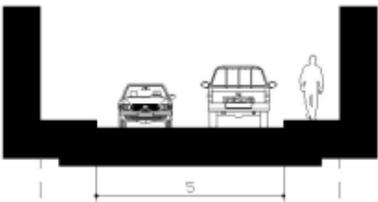
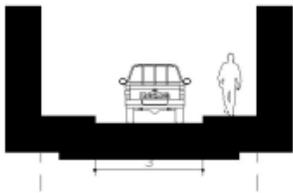
Perfil	Descripción	Observaciones
	<p>-De 10 a 15m. entre línea oficial.</p> <p>-Calzada de 7m en total.</p> <p>-Vía de servicio.</p>	<p>Importante para la comunicación dentro de la localidad.</p> <p>Longitudinales o ascendentes.</p>
	<p>-De 8 a 10 m. entre línea oficial.</p> <p>-Calzada de 5 ó 6m en total</p> <p>-Vía local.</p>	<p>Comunes en localidades pequeñas.</p>
	<p>-De 4 a 7 m. entre línea oficial.</p> <p>-Calzada 3 ó 4 m. en total de una sola pista.</p>	<p>Vía local sin pavimentar, generalmente es sólo una huella y no entra en una clasificación de OGUC.</p>

Tabla 98. Análisis de perfiles tipo en las localidades estudiadas.

Fuente: elaboración propia en base a PRC

Las recomendaciones destinadas a permitir una rápida evacuación a través de estas vías son (Figura 87):

- Señalización clara, tanto de las vías como de las zonas seguras, ubicando infografía en lugares públicos de reunión (playas, caletas, plazas, etc.) y en el circuito de

evacuación y nodos, indicando la dirección hacia donde se deben dirigir las personas, y si es necesario, la distancia faltante.

- Indicación de las rutas de evacuación a través de acciones visibles y reconocibles, como la indicación en pavimentos, ya sea con flechas o a través de pavimento pintado de un color reconocible y que no interfiera con la señalización de tránsito ordinaria.
- El ordenamiento del mobiliario urbano presente en las veredas de las calles seleccionadas como vías de evacuación, así como el despeje de letreros, plantas y adornos, permitiendo el tránsito fluido de personas. Se recomienda mantener el mobiliario básico necesario (basureros, bancas, postes, árboles), en un costado de la vereda, a una misma distancia de la línea oficial.
- Implementar un sistema de iluminación independiente del alumbrado público, y que permita tanto indicar las rutas de evacuación, como iluminar de mejor forma en caso de un corte eléctrico general.
- En localidades de mayor tamaño y balnearios importantes, evaluar el cierre de calles durante la época estival, transformándolas en paseos peatonales, y permitiendo que en caso de catástrofe, la evacuación peatonal sea más fluida y ordenada, debido a la presencia de una gran cantidad de turistas y población flotante durante esta época (Figura 88).



Figura 87. Recomendaciones para vías de evacuación ascendentes.



Figura 88. Recomendaciones para vías de evacuación ascendentes en períodos de alta concurrencia.

Fuente: Elaboración Propia.

- En el caso de vías de menor tamaño, huellas, y caminos rurales, presentes en localidades de menor tamaño, y que muchas veces representa las únicas vías

ascendentes, transversales a la línea de la costa, se recomienda su mejoramiento y priorización en planes de pavimentación y ensanchamiento a un mínimo de 8 metros entre línea oficial.

- Al igual que el punto anterior, se recomienda que las rutas seleccionadas como vías de evacuación tengan prioridad en planes de mejoramiento vial, arreglo de veredas y parchado.
- En aquellos casos donde la evacuación deba ser hacia laderas de cerros de alta pendiente y no habitados, donde es difícil y poco justificada la construcción de calles vehiculares, evaluar la construcción de caminos peatonales que conecten con las zonas seguras. Dada la vocación turística de algunas localidades, estas vías y zonas seguras pueden habilitarse como miradores y caminos recreativos.

VÍAS DE EVACUACIÓN LONGITUDINALES.

a. TRAZADO.

Para definir cuáles serán las vías de evacuación longitudinales, se recomienda utilizar los siguientes criterios:

- Priorizar vías jerárquicas según PRC, ya que éstas casi siempre presentan perfiles más anchos que las otras calles, lo que implica mayor capacidad de acoger personas evacuadas, y son en general más reconocibles por la población.
- Priorizar vías que conecten directamente las zonas afectadas por la amenaza de tsunami donde se concentre población, con vías ascendentes. La idea es que cada lugar que está dentro de amenaza de tsunami y deba evacuar, tenga cerca una vía longitudinal que conecte a las personas con la vía ascendente más cercana.

b. CARACTERÍSTICAS.

Lo más importante en las vías longitudinales es informar a la población en qué dirección está la vía ascendente más cercana. Para esto, debiera localizarse señalética informativa en las esquinas principales y fuera de aquellos programas que acogen población masiva.

Esta señalética puede ser complementada con pintado del pavimento en estos cruces, de manera de mejorar el reconocimiento de las vías ascendentes, y evitar el bloqueo de los cruces.

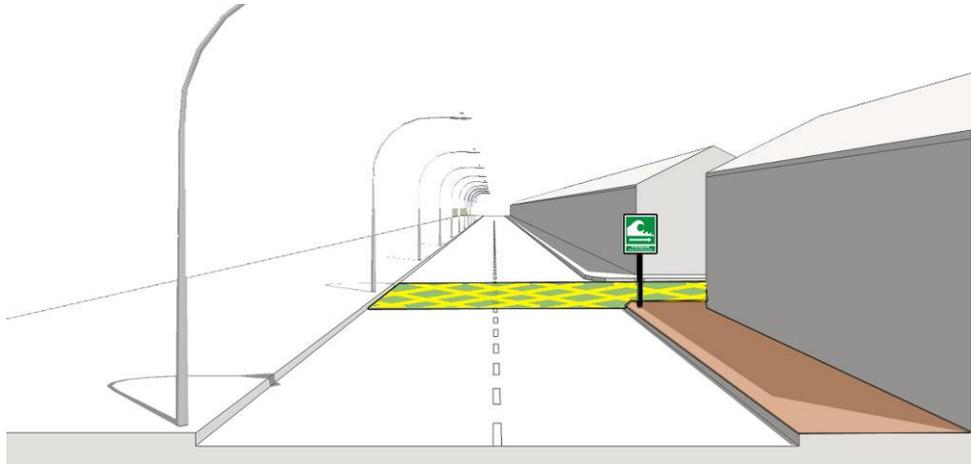


Figura 89. Recomendaciones para vías longitudinales.

3.4.5.4 RECOMENDACIONES PARA NODOS DE ENCUENTRO Y ZONAS SEGURAS.

NODOS DE ENCUENTRO.

Se definen como todos aquellos puntos donde es necesario informar a la población evacuada de la dirección a seguir. En general, serán cruces donde las personas que están evacuando por una vía longitudinal deben tomar una ascendente. También es recomendable en aquellos puntos donde comienza una vía de evacuación, por ejemplo en playas.

Se recomienda instalar señalética en los nodos de encuentro donde se informe la localización de la zona segura más cercana, y la dirección a seguir.

ZONAS SEGURAS.

La finalidad de definir zonas seguras delimitadas dentro del área fuera de riesgo, es asegurar la existencia de aquella infraestructura y servicios básicos para las personas evacuadas, para las horas inmediatamente posteriores al evento de emergencia. Será parte de los planes de emergencia estimar el tiempo para el cual están diseñadas las Zonas Seguras para albergar a la población evacuada, antes de movilizar a la población cuya vivienda fue dañada, hacia los albergues.

Según la Guía de tsunamis de la Comisión Oceanográfica de la UNESCO, “La selección de una zona segura debe realizarse por su topografía y altura y fuera del área estimada de inundación. El sitio de evacuación debe poseer una capacidad suficiente tanto para la distribución como para la cantidad de viviendas evacuadas, ser accesible desde las vías de evacuación y tener un sistema de

orientación para los evacuados. A menudo los sitios de evacuación empleados cuentan con escuelas, salones comunitarios, templos o santuarios, jardines infantiles y parques. Es preciso verificar que los sitios designados sean seguros y que resistan terremotos²⁷.

Estas zonas seguras debieran estar bajo la responsabilidad municipal, con la asesoría de la ONEMI, en períodos fuera de emergencia, asegurando su mantención y correcto funcionamiento de la infraestructura y servicios. En los eventos de emergencia, debiera quedar bajo la responsabilidad del Comité de Emergencia, que en conjunto con carabineros y la fuerza pública, inmediatamente después de dada la alerta de tsunami, velarán por la correcta organización e información de la población a medida que ésta vaya llegando a la zona segura.

A. DEFINICIÓN DE ZONAS SEGURAS

La metodología propuesta en el presente estudio, contempla una primera etapa donde se reconocen las áreas fuera de amenaza, dentro de las cuales se podría localizar una Zona Segura. Se determinaron las áreas fuera de amenazas según los siguientes criterios (ver Tabla 99):

Criterios para definición de Áreas fuera de Amenaza	
Variable	Criterio
Pendiente	Zonas de baja pendiente (entre 0º - 8º)
Riesgo de tsunami	Zonas fuera cota máx de inundación tsunami peor escenario
Remoción en masa	Zonas sin amenaza de remoción en masa según modelación
Inundación fluvial	Zonas sin amenaza de inundación fluvial según modelación
Licuefacción	Zonas fuera de alto riesgo de licuefacción según modelación
Límites	Zonas dentro de límite de área de estudio

Tabla 99. Definición de Áreas fuera de Amenaza.

Fuente: elaboración propia, 2010.

Dentro de las áreas fuera de amenaza, se determinan las zonas seguras entre aquellos terrenos que se presenten como más viables y seguros, según los siguientes criterios (ver Tabla 100):

²⁷ PREPARACIÓN PARA CASOS DE TSUNAMI, *Guía informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes*. UNESCO. Septiembre 2008.

Criterios para definición de Zonas Seguras	
Variable	Criterio
Fuera de Amenaza	Dentro de Áreas fuera de amenaza
Factor de seguridad	Sobre cota 20m
Accesibilidad y conectividad	Se priorizan terrenos cercanos a vías estructurantes e integrados a trama urbana
Capacidad de Público	Terrenos de grandes dimensiones
Viabilidad	Se priorizan terrenos sin construcciones
Equipamiento	Se prioriza Cercanía a hospitales, comisarías, bomberos
Evacuación	Terrenos cercanos a construcciones en riesgo de tsunami
Viabilidad	Se priorizan terrenos de propiedad fiscal y/o área verde en PRC

Tabla 100. Definición de Zonas Seguras.

Fuente: elaboración propia, 2010.

Si bien en el presente estudio se definen y recomiendan zonas seguras para aquellas localidades que presentan amenaza de tsunami, éstas se proponen como una referencia, y es recomendable que sean definidas por los Comité de Protección Civil de cada Comuna debido al conocimiento en detalle del territorio propio.

B. CONDICIONES DE LAS ZONAS SEGURAS:

Construcción y Características generales

- Deberá asegurarse que las construcciones localizadas en las zonas seguras sean resistentes a sismos.
- Deberán ser zonas cuya extensión asegure la cabida de la población evacuada.
- Idealmente, debieran localizarse en sectores de la localidad conocidos por la población.
- Deberán contar con un acceso visible y expedito, libre de estacionamientos, que permita la entrada de gran cantidad de personas.

Comunicación

- Contar con la infraestructura que asegure una comunicación directa con autoridades responsables de Plan de Emergencia, a través de los sistemas de comunicaciones determinados en el Plan de Emergencia.
- Contar con los equipos necesarios para la correcta comunicación de información a la población evacuada (por ejemplo, altavoces o megáfonos).
- Las zonas seguras debieran estar dentro de la cobertura de antenas de telefonía celular.

Servicios básicos

- Autonomía de la red eléctrica.
- Asegurar la iluminación del lugar, de manera independiente de la red eléctrica general.
- Abastecimiento de agua potable, con una reserva suficiente para suplir las demandas de la población evacuada durante el tiempo máximo de estadía en la zona segura.
- Insumos de primeros auxilios.

C. ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS CON POSIBILIDAD DE SER ZONA SEGURA

Dado que las zonas seguras se utilizan como tales sólo en casos de eventos de emergencia, además de que deben estar en buen estado de mantención, es recomendable que se localicen en establecimientos de equipamientos comunitarios que puedan cumplir el rol de zona segura en casos de emergencia. Pueden ser de propiedad municipal o privada. En el segundo caso, debiera existir un acuerdo entre los propietarios y las autoridades locales de manera de que cumpla con todas las condiciones y se esté disponible en caso de emergencia. Ejemplos de programas que pueden ser zona segura:

- Plazas
- Equipamientos comunitarios
- Estadios Municipales
- Clubes deportivos

- Patios de escuelas
- Patios de iglesias

3.4.5.5 SEÑALÉTICA

Debido a la inexistencia de un conjunto de señalizaciones reglamentadas, pensadas para el desarrollo del sistema de protección civil, se deberá plantear la creación conjunta de señalética, con un mismo sentido gráfico, simple pero que logre sintetizar una gran cantidad de información con respecto a dos acciones dentro de la prevención de catástrofes:

SEÑALÉTICA DE ZONIFICACIÓN (Figura 90):

Donde la información desplegada refiere a una zona, sector o área específico con el cual se pretende contextualizar al lector y señalarle distintos niveles de alerta a los que debe estar preparado. Se ocupará para establecer zonas propensas a distintas amenazas naturales (Tsunami, Inundación, Remoción en masa, Licuefacción), o para establecer zonas de seguridad libres de cualquier amenaza, y donde es posible evacuar en caso de que suceda una catástrofe. Se espera que esta señalética contenga a los menos:

- Tipo de zona
- Localidad
- Ubicación y número dentro de la localidad
- Altura en metros



Figura 90. Ejemplo de señalética de zonificación.

Fuente: Elaboración Propia.

SEÑALÉTICA DE EVACUACIÓN (Figura 91):

Donde el objetivo de esta es guiar a las personas desde un punto o zona de amenaza hasta una zona de seguridad, con una capacidad gráfica clara y concisa, indicando:

- Dirección de desplazamiento
- Zona de seguridad a la que se dirige
- Distancia en metros hasta la zona segura



Figura 91. Ejemplo de señalética de evacuación.

Fuente: Elaboración Propia.

Por último, es necesario establecer en los edificios públicos de atención a público, así como las oficinas de turismo e información turística, mantener señalética de mayor tamaño, con la información total de la localidad (o en su defecto, una parte de ella), mostrando la totalidad de zonas de amenaza y zonas de seguridad, así como las rutas completas de evacuación que las unen, permitiendo mantener informado tanto a turistas como personas que se encuentren lejanas a su lugar de habitación.

3.5 RECOMENDACIONES RESPECTO A LA LOCALIZACIÓN DE EQUIPAMIENTO CRÍTICO E INFRAESTRUCTURA BÁSICA.

Para realizar las recomendaciones sobre la localización de equipamiento crítico e infraestructura básica se consideraron sólo cuatro de las cinco amenazas analizadas en este estudio. Estas son: la amenaza de tsunami, de inundación fluvial, de remoción en masa y de licuefacción. La amplitud sísmica no fue considerada ya que es una amenaza que se está comenzando a normar recientemente, y no es necesario relocalizar las edificaciones emplazadas en zonas de alto grado de amplitud sísmica para evitar daños, sino que más bien se debe mitigar la amenaza mejorando los cálculos estructurales de las construcciones junto con sus condiciones de edificación.

Tanto para el equipamiento crítico como para la infraestructura básica se realizaron dos tipos de recomendaciones: relocalización o mitigación de la amenaza a la cual estuvieran expuestos, dependiendo principalmente de la facilidad y viabilidad de relocalizar ciertos equipamientos o infraestructuras. En los casos en que la relocalización fuera prácticamente inviable, se recomendó mitigar el peligro, mientras que en los casos en fuera viable se recomendó relocalizar. En el capítulo sobre recomendaciones para obras de mitigación se exponen ciertas medidas que pueden ser implementadas en las localidades que así lo requieran.

Cabe señalar que si bien se plantea la relocalización como una recomendación general para aquellos equipamientos o infraestructura que sean viables de trasladar, siempre existe la opción de mitigar la o las amenazas ante las cuales se ven afectados, y así prescindir de la necesidad de relocalizarlos en sectores seguros para evitar posibles catástrofes.

Por otra parte, la recomendaciones se realizaron sólo para los equipamientos o infraestructuras que se encontrasen en zonas de “7 y más” metros de profundidad de inundación de tsunami, “5 años” de período de retorno de inundación fluvial, o en sectores de “alto” grado de remoción en masa o licuefacción. Esto debido a que estas zonas fueron consideradas las zonas de alto peligro de cada amenaza, por lo que se requiere realizar alguna medida que evite que los equipamientos o infraestructuras emplazados en estos sectores continúen expuestos al peligro que los afecta.

3.5.1 EQUIPAMIENTO CRÍTICO Y DE ALTA CONGREGACIÓN

Dentro del total de equipamientos levantados en terreno en las diversas localidades, se tomaron 4 equipamientos fundamentales que debiesen estar protegidos y/o seguir funcionando una vez que haya ocurrido un evento de determinadas características e intensidad. Estos equipamientos fueron definidos como equipamientos críticos y son los siguientes: educación, salud, carabineros y bomberos.

A su vez, se analizaron también los equipamientos denominados de “Alta Congregación”, ya que como su nombre lo dice, son lugares donde se concentra una alta cantidad de personas por lo que se deben proteger ante cualquier tipo de evento.

Ambos equipamientos fueron cruzados con cada una de las tres zonas con las que cuenta cada amenaza, mostrando en las tablas por localidad los distintos equipamientos y en qué zona se emplazan con respecto a cada amenaza.

A continuación se muestra una tabla ejemplo de lo que fue realizado en cada una de las localidades en estudio, en donde fueron listados todos los equipamientos críticos con los que cuenta la localidad y su grado de peligro.

Equipamiento Crítico	Profundidad Inundación Tsunami	Período Retorno Inundación Fluvial	Grado de Remoción en Masa	Grado de Licuefacción
Bomberos	7 y más	5 años	Alto	Alto
Carabineros	2 a 7	10 años	Medio	Medio
Escuela	0 a 2	100 años	Bajo	Bajo
Centro de Salud	0	0	0	0

Tabla 101 Ejemplo de tabla con grados de amenazas por Equipamiento Crítico o de Alta Congregación.

Fuente: Elaboración propia.

El “0” indica que el equipamiento se encuentra fuera de la zona de amenaza.

Según el resultado arrojado por el cruce de las amenazas con los equipamientos, en relación a su localización, se realizaron recomendaciones específicas para cada localidad, las cuales se muestran en el documento de síntesis de cada una de estas.

3.5.1.1 Síntesis de recomendaciones sobre la localización de equipamiento crítico y de alta congregación

De las 11 localidades en estudio de la Región de O'Higgins, sólo 4 presentan equipamientos críticos emplazados en zonas de alto peligro de tsunami y/o de inundación fluvial. Con respecto a las otras dos amenazas analizadas en este capítulo, cabe resaltar que ningún equipamiento se encuentra en zonas de alto grado de licuefacción o remoción en masa, por lo que estas amenazas no aparecen representadas en las siguientes tablas, pero sí en las tablas específicas de cada localidad.

Analizando la amenaza de tsunami, se recomienda relocalizar o reconstruir -dependiendo de si la edificación fue destruida por el tsunami del 27 de febrero o no- un total de 6 equipamientos críticos, que corresponden al 16% del total de equipamientos críticos de la región. La localidad de Bucalemu es la que presenta la mayor cantidad de equipamientos recomendados a relocalizar, 3 de los 4 equipamientos críticos, es decir, un 75% del total. Entre estos tres equipamientos están una posta y dos establecimientos educacionales.

Las otras localidades con recomendaciones de relocalización de equipamiento son Matanzas, donde se plantea relocalizar la Escuela Carlos Ibañez del Campo, único equipamiento crítico de la localidad; Puertecillo, que al igual que Matanzas cuenta sólo con un equipamiento crítico, la escuela; y Pichilemu, con recomendación de relocalizar sólo el Internado del Liceo C-25, uno de sus 17 equipamientos críticos.

Localidad	Cantidad equipamiento con recomendaciones		Total de equipamientos	
	Equipamiento Crítico	Equipamiento Alta Congregación	Equipamiento Crítico	Equipamiento Alta Congregación
AMENAZA TSUNAMI				
Matanzas	1	0	1	0
Puertecillo	1	0	1	0
Pichilemu	1	0	17	1
Bucalemu	3	0	4	0
AMENAZA INUNDACIÓN FLUVIAL				
Bucalemu	2	0	4	0
TOTAL REGIONAL	6	0	37	2

Tabla 102 Cantidad de equipamientos recomendados a relocalizar por tipo de amenaza. Región de O'Higgins.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

Analizando ahora la amenaza de inundación fluvial, se puede apreciar en la tabla anterior que sólo la localidad de Bucalemu presenta equipamientos a relocalizar: 2 de sus 4 equipamientos críticos, dentro de los cuales están la posta y el jardín infantil de la localidad. Cabe señalar que estos equipamientos son los mismos que fueron recomendados a relocalizar por la amenaza de tsunami, por lo que se podría plantear una prioridad de relocalización o reconstrucción, trasladando primero estos 2 equipamientos, que están bajo el peligro de dos amenazas, y luego relocalizar la Escuela Unión de Mujeres Americanas que está sólo bajo la amenaza de tsunami.

Como fue expuesto al inicio de este capítulo, si bien se plantea la relocalización como primera recomendación para todos los equipamientos que se encuentren en zonas de alto peligro, la opción de mitigar las amenazas ante las cuales están expuestos es siempre una alternativa que, de implementarse, evitaría la necesidad de relocalizarlos en sectores seguros de cada localidad.

Con respecto a la Región del Maule, de las 15 localidades analizadas en este estudio 7 presentan equipamientos con recomendaciones de relocalización o mitigación del peligro al cual están expuestos, ya sea por amenaza de tsunami o inundación fluvial. Al igual que en la Región de O'Higgins, ninguna de las localidades de la séptima región presenta equipamientos críticos o de alta congregación en zonas de alto grado de remoción en masa o licuefacción, por lo que estas amenazas tampoco se encuentran representadas en la tabla siguiente.

Localidad	Cantidad equipamiento con recomendaciones		Total de equipamientos	
	Equipamiento Crítico	Equipamiento Alta Congregación	Equipamiento Crítico	Equipamiento Alta Congregación
AMENAZA TSUNAMI				
Boyeruca	1	0	2	0
Lipimávida	1	0	2	0
Iloca	4	0	4	0
Duao	1	0	3	0
Constitución	15	3	17	3
Pelluhue	0	1	6	1
AMENAZA INUNDACIÓN FLUVIAL				
Llico	1	0	4	0
TOTAL REGIONAL	23	4	50	4

Tabla 103 Cantidad de equipamientos recomendados a relocalizar por tipo de amenaza. Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

Analizando la amenaza de tsunami, se realizaron recomendaciones en 22 de los 50 equipamientos críticos de la región. Cabe destacar que 15 de estos 22 equipamientos están localizados en la ciudad de Constitución, y, considerando que la relocalización de la totalidad de estos es prácticamente inviable, se plantea como recomendación implementar obras de mitigación para reducir el peligro de tsunami al cual se ven enfrentados.

Para los otros 7 equipamientos críticos con alto peligro de tsunami se recomienda la relocalización o habilitación en sectores seguros de su localidad, lo que se traduciría en relocalizar el 14% del total de los equipamientos críticos regionales. Dentro de las localidades con estas recomendaciones están Boyeruca, Lipimávida, Iloca y Duao.

Con respecto a los equipamientos de alta congregación, sólo la localidad de Pelluhue presenta un equipamiento con recomendación de relocalización, que corresponde al estadio de Pelluhue. Cabe señalar que en las recomendaciones específicas de esta localidad también se planteó la opción de mitigar el peligro de tsunami al cual se ve expuesto, y así poder reconstruir el estadio en el mismo sitio donde se emplazaba hasta el 27 de febrero. Por otra parte, para los 3 equipamientos de alta congregación de la ciudad de Constitución, se plantea la implementación de obras de mitigación ante el peligro de tsunami, que eviten la necesidad de relocalizar este equipamiento.

En cuanto a la amenaza de inundación fluvial, sólo la localidad de Llico posee un equipamiento crítico dentro de la zona de mayor peligro de inundación, que corresponde a un retén de carabineros, el cual se recomienda relocalizar en una zona segura de la localidad.

3.5.2 INFRAESTRUCTURA BÁSICA

Para las recomendaciones sobre la localización de la infraestructura básica se analizaron los siguientes tipos de infraestructura, siempre y cuando estuvieran presentes en la localidad: Infraestructura de telecomunicaciones, como antenas de celular y de radio; red eléctrica, como postes y transformadores; infraestructura de conectividad, como puentes, e infraestructura sanitaria, que corresponden a plantas de tratamiento de aguas, plantas elevadoras y APRs (Agua Potable Rural).

En relación a la infraestructura eléctrica, y considerando que es prácticamente inviable relocalizar una gran cantidad de postes, no se realizaron recomendaciones sobre este tipo de infraestructura, sino que sólo se hizo mención de la cantidad de postes que se ven afectados por las diversas amenazas.

Al igual que para el análisis sobre el equipamiento crítico, las amenazas utilizadas para realizar las recomendaciones sobre la infraestructura básica son tsunami, inundación fluvial, remoción en masa y licuefacción. En cada una de las localidades se realizó un conteo de la cantidad total de

infraestructura según tipo, y posteriormente se realizó un cruce con las zonas de mayor peligro de cada amenaza analizada, resultando una tabla con la cantidad de infraestructura emplazada en cada zona de alto peligro, como la que se muestra a continuación.

Infraestructura	CANTIDAD TOTAL	CANTIDAD DE INFRAESTRUCTURA EN			
		Tsunami "7 y MÁS"	Inundación Fluvial "5 AÑOS"	Remoción en Masa "ALTO"	Licuefacción "ALTO"
Antena de Radio	2	0	1	0	0
Antena de Celular	1	1	0	0	0
Antena de Radio Posta	1	0	0	0	0
Transformador	1	0	0	0	1
Postes	240	0	6	0	43
Puentes	2	2	0	0	0
APR	1	0	0	0	0

Tabla 104 Ejemplo de tabla con cantidad de Infraestructura Básica en zonas de alto peligro según amenaza.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada localidad se hicieron recomendaciones específicas en relación a la localización de su infraestructura básica, las cuales se muestran, junto con las tablas, en el documento síntesis por localidad.

3.5.2.1 Síntesis de recomendaciones sobre la localización de infraestructura básica

Como fue dicho en el comienzo de este capítulo, la red eléctrica de postes es prácticamente inviable de relocalizar en el caso de que hubiesen una gran cantidad de postes dentro de zonas de alto peligro, por lo que en esta síntesis este tipo de infraestructura no fue presentado, sin embargo sí se encuentra graficado en las tablas específicas de infraestructura por localidad.

En la Región de O'Higgins, de las 11 localidades en estudio sólo 4 presentan algún tipo de infraestructura con recomendación de relocalización o mitigación del peligro, ya sea por amenaza de tsunami o licuefacción. Estas localidades son Navidad, Matanzas, La Vega de Pupuya y Pichilemu. Con respecto a las otras dos amenazas analizadas, cabe resaltar que ninguna infraestructura básica se encuentra en zonas de alto peligro de inundación fluvial o alto grado de remoción en masa, por lo que estas amenazas no aparecen representadas en la siguiente tabla pero sí en las tablas específicas de cada localidad.

En Matanzas, de las 2 infraestructuras de telecomunicaciones que posee, se recomienda relocalizar una (una antena de celular) debido a su exposición al alto peligro de la amenaza de tsunami. En Pichilemu se recomienda relocalizar una de las 5 infraestructuras de telecomunicaciones, una antena de radio, ya que al igual que en el caso de Matanzas está en zona de alto peligro de tsunami. En resumen, analizando la amenaza de tsunami, se recomienda relocalizar 2 de las 16 infraestructuras de telecomunicaciones que posee la región, que corresponden al 12,5% del total.

Analizando la amenaza de licuefacción, la única localidad que presenta recomendaciones de relocalización es Navidad, donde se plantea relocalizar una infraestructura de la red eléctrica, correspondiente a un transformador, el cual está en una zona con alto peligro de licuefacción.

Localidad	Cantidad infraestructura recomendación "Relocalización"		Total de infraestructura	
	Telecomunicaciones	Red Eléctrica	Telecomunicaciones	Red Eléctrica
AMENAZA TSUNAMI				
Matanzas	1	0	2	0
Pichilemu	1	0	5	1
AMENAZA LICUEFACCIÓN				
Navidad	0	1	4	1
TOTAL REGIONAL	2	1	16	3

Tabla 105 Cantidad de infraestructura recomendada a relocalizar por tipo de amenaza. Región de O'Higgins.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

Tanto la localidad de La Vega de Pupuya como Pichilemu cuentan con un puente en zonas con alto peligro de tsunami, por lo que se recomienda mitigar la amenaza reforzándolos estructuralmente para evitar que se vean afectados en un futuro evento.

Localidad	Cantidad infraestructura recomendación "Mitigación amenaza"		Total de infraestructura	
	Red Sanitaria	Conectividad	Red Sanitaria	Conectividad
AMENAZA TSUNAMI				
La Vega de Pupuya	0	1	1	4
Pichilemu	0	1	3	3
TOTAL REGIONAL	0	2	5	11

Tabla 106 Cantidad de infraestructura recomendada mitigar por tipo de amenaza. Región de O'Higgins.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

Con respecto a la Región del Maule, de las 15 localidades en estudio 11 poseen algún tipo de infraestructura con recomendaciones de relocalización o mitigación del peligro que los afecta, tanto por amenaza de tsunami como por inundación fluvial. Dentro de estas localidades están Boyeruca, Llico, Iloca, Duao, Constitución y Pellines. Cabe señalar que ninguna de las localidades analizadas en esta región presenta infraestructura en zonas de alto grado de remoción en masa o licuefacción, por lo que estas amenazas no aparecen en las tablas siguientes, pero sí en las tablas específicas por localidad.

Analizando la amenaza de tsunami, se recomienda relocalizar 5 de las 24 infraestructuras de telecomunicaciones, es decir el 21% del total, y además 2 de las 3 infraestructuras eléctricas de la región, que corresponde a un 67% del total.

Las localidades de Boyeruca y Pellines presentan recomendaciones de relocalización de infraestructura de telecomunicaciones (una antena de radio en cada localidad). En Iloca y Duao, las recomendaciones se hicieron tanto para infraestructura de telecomunicaciones como para la red eléctrica, planteando la relocalización de una antena y un transformador en ambas localidades.

Constitución tiene recomendaciones de relocalización para una de las 8 infraestructuras de telecomunicaciones, correspondiente a una antena de celular.

Localidad	Cantidad infraestructura recomendación "Relocalización"		Total de infraestructura	
	Telecomunicaciones	Red Eléctrica	Telecomunicaciones	Red Eléctrica
AMENAZA TSUNAMI				
Boyeruca	1	0	1	0
Iloca	1	1	3	1
Duao	1	1	3	1
Constitución	1	0	8	0
Pellines	1	0	3	0
AMENAZA INUDACIÓN FLUVIAL				
Llico	3	0	3	0
Pellines	1	0	3	0
TOTAL REGIONAL	8	2	24	3

Tabla 107 Cantidad de infraestructura recomendada a relocalizar por tipo de amenaza. Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

Analizando ahora la amenaza de inundación fluvial, Llico presenta la totalidad de su infraestructura de telecomunicaciones con recomendación de relocalización. En Pellines, en cambio, se plantea relocalizar una de las tres infraestructuras de telecomunicaciones, una antena de radio, sin embargo esta es la misma que fue recomendada relocalizar por amenaza de tsunami.

Con respecto a las recomendaciones de mitigación de las amenazas, sólo una localidad de las 15 en estudio presenta recomendaciones para la red sanitaria. Esta localidad es Constitución y su infraestructura en peligro de tsunami es una planta de tratamiento de agua.

Localidad	Cantidad infraestructura recomendación "Mitigación amenaza"		Total de infraestructura	
	Red Sanitaria	Conectividad	Red Sanitaria	Conectividad
AMENAZA TSUNAMI				
Llico	0	1	0	2
Lipimavida	0	3	0	4
Iloca	0	2	0	2
Constitución	1	1	1	1
Las Cañas	0	1	0	1
Pellines	0	1	0	1
Pelluhue	0	2	0	2
Curanipe	0	2	2	2
Cardonal	0	1	0	1
AMENAZA INUDACIÓN FLUVIAL				
Llico	0	1	0	2
Constitución	0	1	1	1
Las Cañas	0	1	0	1
Pellines	0	1	0	1
Pelluhue	0	1	0	2
Curanipe	0	1	2	2
TOTAL REGIONAL	1	14	4	18

Tabla 108 Cantidad de infraestructura recomendada mitigar por tipo de amenaza. Región del Maule.

Fuente: Elaboración propia en base a catastro realizado en terreno.

En relación a la infraestructura de conectividad, en las localidades de Llico, Lipimavida, Iloca, Constitución, Las Cañas, Pellines, Pelluhue, Curanipe y Cardonal se recomienda, como medida de mitigación, reforzar estructuralmente el o los puentes que se emplacen en zonas con alto peligro de tsunami. A su vez, los puentes de las localidades de Llico, Constitución, Las Cañas, Pellines Pelluhue y Curanipe están expuestos también al alto peligro de inundación fluvial, por lo que su refuerzo estructural debe ser capaz de resistir un futuro tsunami o una inundación fluvial.

3.6 RECOMENDACIONES RESPECTO DE OTRAS HERRAMIENTAS QUE PERMITAN A LA SOCIEDAD EN SU CONJUNTO REDUCIR LA VULNERABILIDAD DE LAS PERSONAS Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

3.6.1 INTRODUCCIÓN

Junto con las recomendaciones a los Planes de preventivos de emergencia y defensa civil, las recomendaciones respecto a los IPT y las recomendaciones relacionadas a las obras de mitigación, existen otras herramientas que pueden colaborar a reducir el riesgo de forma general y en las localidades del área de estudio de forma particular para las amenazas estudiadas.

Considerando los siete principios definidos en Designing for tsunamis por el National Tsunami Hazard Mitigation Program de estados unidos detallados a continuación, podemos establecer algunos de los aspectos que no han sido incluidos dentro de los capítulos precedentes.

1. Conocer el nivel de riesgo de una comunidad: amenaza, vulnerabilidad y exposición.
2. Evitar nuevo desarrollo en áreas de runups de tsunami para minimizar las pérdidas futuras.
3. Localizar y configurar el nuevo desarrollo en áreas de runups de tsunami para minimizar posibles pérdidas futuras.
4. Diseñar y construir la nueva edificación para minimizar los daños causados por tsunamis.
5. Proteger el desarrollo existente en áreas de runups de tsunami por medio de planes de renovación y reconversión de los usos
6. Tomar precauciones especiales para la localización de la infraestructura crítica para minimizar el daño.
7. Planificar para la evacuación.

Estos puntos en su mayoría han sido tratados con anterioridad en mayor o menor profundidad, quedando el punto 4 como un aspecto pendiente que debiera ser incorporado como parte de las medidas para la reducción del riesgo.

En relación a lo anterior a continuación se desarrolla este punto principalmente orientado a la definición de tipologías de diseño y sistemas constructivos que tengan mejor comportamiento especialmente ante la amenaza de tsunami.

Además de esto se incorpora un último apartado relativo a las estructuras de evacuación que pudieran ser utilizadas en casos que en ciertas localidades las zonas seguras se encuentren a una distancia mayor.

3.6.2 TIPOLOGÍAS DE EDIFICACIÓN Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

3.6.2.1 Sistema de agrupación y configuración de la edificación.

La forma en que las construcciones se emplazan en la primera línea costera, zona de mayor riesgo frente a un Tsunami, es un factor a considerar para resistir de la mejor manera posible el impacto de la ola, así como facilitar la rápida desocupación de los habitantes de las zonas de riesgo. En una escala menor, la mejor forma de ubicarse en borde costero es perpendicular a la orilla, reduciendo la superficie de impacto del agua.

Complemento a lo anterior, y teniendo como antecedente el Tsunami de Valdivia (1960) y Constitución (2010), la agrupación de viviendas en 2 o más unidades pareadas, presenta una mejor resistencia al tsunami al trabajar como una unidad estructural más estable.

Otra dimensión de prevención frente a las amenaza naturales como lo son los Tsunami, viene directamente de operaciones arquitectónicas respecto al comportamiento que tiene las construcciones frente a estos fenómenos. La forma en que se agrupan las viviendas en borde costero, los materiales con que están construidas, y las soluciones estructurales que poseen, son factores que pueden determinar la vulnerabilidad de la población principalmente en borde costero, primera línea que enfrenta el Tsunami.

Un caso interesante es el Plan para mitigación de Hilo, Hawái, desarrollado posterior al tsunami que devastó la localidad debido al terremoto de Valdivia de 1960. En este caso se desarrolló un plan de mitigación que complementaba obras de mitigación como muros de contención y bosques costeros con tipologías de edificios levantadas del suelo que permitieran el paso del agua.

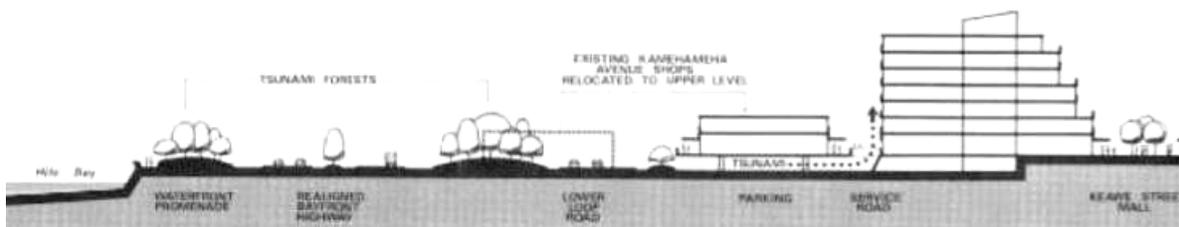


Figura 92. Plan de desarrollo de Hilo para mitigación de Tsunami, Hawái.

Fuente: Designing For Tsunamis.

Otra alternativa dentro de las tipologías de edificación corresponde a formas estratégicas de posicionar la construcción respecto del caudal del mar producto del Tsunami. Retomando el punto anterior, elevar la construcción por sobre el área de inundación resulta la operación más eficiente en mantener el edificio lo más aislado posible del agua. Impidiendo prácticamente de forma total

el impacto de la ola. Cuando la construcción no se puede elevar, se debe buscar la mejor forma de resistir la fuerza del Tsunami: construyendo casas agrupadas como unidad estructural más fuerte, girando el edificio respecto de la línea de costa en forma diagonal minimizando la presión del mar sobre las paredes, situando la construcción frente a lagunas las cuales disipan la fuerza del agua o considerar los muros estructurales que componen el edificio estén paralelos a la dirección en que fluye el Tsunami.

3.6.2.2 Tipologías En Altura

La construcción en altura puede ser tomada en 2 grandes grupos. En primer lugar la construcción sobre pilotes busca elevar las construcciones sobre la línea de inundación como medida de protección. El segundo grupo lo componen los edificios en altura, los que sufren el impacto del Tsunami principalmente en los primeros pisos. Entonces es en ellos donde hay que operar con recomendaciones de diseño que permitan enfrentar de buena manera el impacto de la ola. Ya que las variables de implantación en el suelo son similares a las de una construcción normal, pueden ser aplicadas las mismas medidas expuestas hasta ahora este documento, guardando las proporciones entre las magnitudes de construcción y estructura, lo que hace que el diseño de estos edificios sea más complejo. Principalmente se requieren muros paralelos al flujo y refuerzos en los muros perpendiculares al menos en los 2 primeros pisos, y en caso de un Tsunami severo, refuerzo adicional en todos los muros (Verdugo, A., Lizana, J., Evaluación del Efecto de Tsunami sobre Edificios, Universidad de Concepción, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2002).

Como se señalaba una alternativa extrema es elevar las construcciones y dejarlas fuera del alcance de la ola y posterior inundación.

Ejemplos de la capacidad de resistencia de este tipo de tipología pueden ser observados en el mismo caso del área de estudio posterior al tsunami del 27 de febrero. En los recorridos realizados una semana después de ocurrido el evento, se observaba cómo en algunas localidades las construcciones que habían adoptado este tipo de soluciones eran de las pocas que se mantuvieron en pie sin mayores daños.



Figura 93. Vivienda tipo palafito en Duao post tsunami 27F.

Fuente: Fotografía equipo OCUC. 15-03-2010

Otro ejemplo de esto es el Memorial y Museo del Tsunami en Aceh, donde tras el Tsunami del 2004, aparece este edificio público construido sobre pilotes levantándose del suelo, y emplazado sobre una colina que permite la evacuación de la población hacia el edificio, funcionando como refugio anti-tsunami (<http://www.urbane.co.id>).



Figura 94. Tipologías de palafito en edificios

Fuente: (<http://www.urbane.co.id>)

Experiencias así se repiten en edificaciones con distinto destino pero con finalidades de uso similares como la propuesta de Ecola Architects y su propuesta de Edificio de Evacuación Anti Tsunami para el Nor Oeste del Pacífico en Estados Unidos.

3.6.2.3 *Tipologías Resistentes*

La solución constructiva más adecuada frente al riesgo del impacto de un Tsunami e inundación, contempla una serie de recomendaciones a considerar al momento de emplazarse y diseñar una construcción, tanto en el ciclo que tiene el Tsunami como en el edificio que tiene que resistir a él.

- Corriente: Diseño considerando fuerzas hidrodinámicas de impacto.
- Rompimiento: Diseño para oleaje rompiente.
- Inundación: Instalación de equipamiento importante en pisos elevados; evaluar la calidad y capacidad de soporte del suelo; Utilizar materiales de alta resistencia; Diseño de muros para resistir la fuerza de presión hidrostática.
- Resaca: Utilizad fundaciones profundas y elementos de protección al pie de la construcción.

Resulta clave entonces considerar las variables constructivas para lograr el diseño de un Edificio Anti Tsunami, ordenamiento y forma de emplazarse en la zona de riesgo, con una tipología que convine el uso del edificio y la mejor forma de resistir el Tsunami, con una estructura y materiales que sean capaces de oponerse a las fuerzas hidrodinámicas e hidrostáticas que por impacto de agua o inundación tienen un alto poder destructivo, y con instalaciones y terminaciones constructivas que permitan una rápida y eficiente rehabilitación de las edificaciones por parte de sus habitantes.

3.6.2.4 *Materiales*

Parte de la gran destrucción ocurrida por el Tsunami a lo largo del borde costero afectado, se dio por la materialidad de las construcciones, donde materiales livianos y poco resistentes como el adobe, la madera y revestimientos metálicos son los más desfavorecidos (Astudillo, 2010).

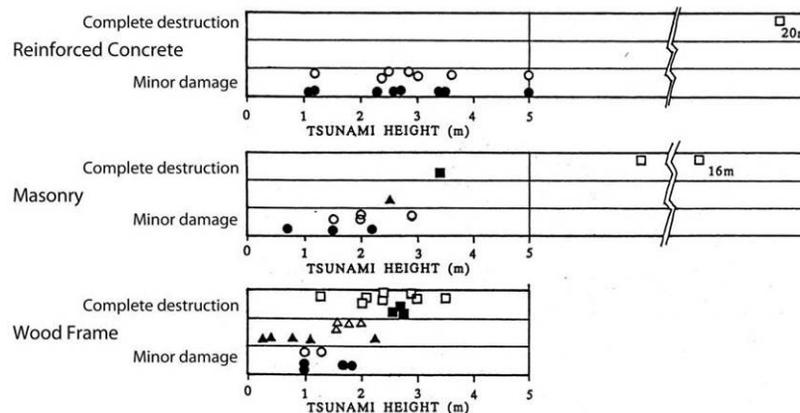


Figura 95. Nivel de daño de edificios en relación a la altura de Runup.

Fuente: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis. FEMA 2008

De lo anterior se desprende la necesidad de establecer parámetros más específicos sobre la materialidad a utilizar en construcciones en zona de riesgo, quedando como precedente que materiales como el Hormigón Armado, y las estructuras de acero, con sus fundaciones protegidas contra la erosión respondieron de buena manera frente al impacto de la ola y la inundación posterior (Lagos, 2008).

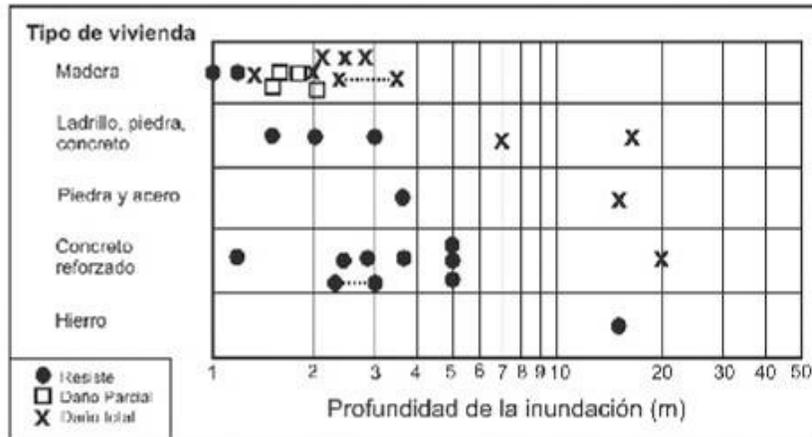


Figura 96. Relación entre el daño de vivienda en relación a la altura de Runup.

Fuente: Construcción de Viviendas Sociales en Áreas de Riesgo de Tsunami. Cisternas, Lagos, Mardones 2008

3.6.2.5 Estructura

El comportamiento estructural de una construcción es fundamental para la resistencia que pueda presentar una construcción, siendo la estructura la que toma las cargas y contrarresta la fuerza del mar. Una primera clasificación está dada por los materiales a utilizar, donde se recomienda la utilización de materiales resistentes capaces de soportar la fuerza de un tsunami (Winckler, 2005), enfocándose principalmente en Hormigón y Acero.

Una segunda clasificación está dada por la solución estructural a desarrollar, definiéndose operaciones específicas de cómo se combinan los elementos que componen la estructura:

- Construcciones agrupadas en 2 o más unidades; el trabajo estructural conjunto genera mejor comportamiento frente a un tsunami.
- Se requieren muros paralelos al flujo y refuerzo estructural en los muros perpendiculares (al menos en los 2 primeros pisos)
- En caso de un Tsunami severo, se debe reforzar adicionalmente todos los muros (Verdugo, A., Lizana, J., 2002).

- Buen anclaje del todo el sistema estructural, compuesto por fundaciones, pilar y muro, y vigas, para evitar el efecto de flotabilidad de la construcción

Como factores de estudio en el desarrollo del proyecto de estructura de una construcción determinada, se recomienda la consideración de fuerzas hidrodinámicas (fuerza de la corriente del agua) y fuerzas hidrostáticas (por inundación), ambas producto del comportamiento del agua producto del tsunami y que ejercen fuerzas determinadas sobre los elementos verticales de la estructura (Winckler, 2005).

Otro factor importante es definir la calidad y capacidad de soporte del suelo, anticipando problemas que puedan presentarse al implantarse construcciones en zonas de riesgo (erosión, licuefacción), y el diseño de fundaciones acordes al terreno y a la construcción.

3.6.2.6 Instalaciones

La permanencia de las instalaciones de un edificio, agua, luz, gas y electricidad, después del paso del Tsunami resultan fundamentales para la rápida rehabilitación del espacio habitable; de ahí que es importante contemplar medidas para resguardar de la mejor forma posible.

La recomendación principal que se hace es contemplar todas las instalaciones en la parte alta de las construcciones, esto es segundo piso e incluso estructura de cubierta, dejándolas fuera del alcance de la inundación para prevenir daños que pueda provocar el agua, y para tener fácil acceso a ellas en caso que se requiera para su rehabilitación.

3.6.2.7 Terminaciones

La fuerza del agua y la posterior inundación generada por un Tsunami arrastra consigo una gran cantidad de escombros producto de la destrucción del entorno y de otras construcciones. Este debe ser un detalle no menor, ya que este sedimento también es destructivo, y por ende tanto la estructura como las terminaciones deben contemplar mantenerse de buena manera al impacto de agua y escombros contra una casa y eventualmente el interior de ellas. Las terminaciones de un edificio deben ser capaces de recibir estos impactos de agua y elementos sueltos, permitiendo la limpieza post tsunami e inundación, y una rehabilitación que sea fácil y rápida para sus habitantes.

3.6.3 ESTRUCTURAS RESISTENTES PARA LA EVACUACIÓN VERTICAL.

Corresponde a estructuras habitables, construidas con materiales resistentes a impactos de olas de tsunamis, las cuales tiene un uso cotidiano (actividades comunes), que en momentos de emergencia de tsunami se utilizan como zona de escape por su altura y resistencia estructural.

Como ejemplo podemos encontrar las torres de evacuación en la localidad de Nishiki, ciudad de Kushimoto, en Japón.



Figura 97. Torres de evacuación de tsunami, Japón.

Fuente: FEMA, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation. / Glosario de Tsunamis. UNESCO

Si bien estas estructuras pueden resultar de costos relativamente elevados en relación a la cantidad de población que sirven en localidades de menor tamaño, de forma similar a otras obras de mitigación pueden ser utilizadas para funciones complementarias mientras no se requieran.

3.7 RECOMENDACIONES RESPECTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL.

3.7.1 SÍNTESIS CONCEPTUAL DE RECOMENDACIONES PARA LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA DE DESASTRES NATURALES

Como se indica en el punto 3.2.2 de recomendaciones respecto al perfeccionamiento de mapas de riesgo, tanto la experiencia del presente estudio como las propias demandas derivadas de la catástrofe del 27F se requiere afrontar una reforma del sistema de prevención y respuesta. En esta línea se plantea aquí una síntesis de los conceptos más recurrentes en la literatura especializada respecto de las orientaciones de la mencionada reforma.

Necesidad de política nacional y claridad en los objetivos del sistema

El desarrollo del país y su intención de constituirse como país desarrollado a corto plazo obliga contar con una política respecto a este tema. En términos específicos se entenderá que

actualmente su objetivo sería “Reducir pérdidas humanas y materiales (propiedades privadas) y reducir la vulnerabilidad de los equipamientos críticos”. Se debe desarrollar el tema con el objeto de dirimir mecanismos que resolucion para conflictos entre desarrollo económico y seguridad de las personas.

Necesidad de articular los intereses de la comunidad

Uno de los conceptos más recurrentes está asociado al nivel de articulación con la comunidad y los mecanismos de comunicación y participación. En esta línea se reconocen las siguientes grandes fases:

- Fase 1 Información /estudios y recopilación de antecedentes
- Fase 2 Conexión racional de intereses de la comunidad con los de las políticas públicas. Base para las acciones de interés público y seguridad nacional.
- Fase 3 Información de planificación y participación de la comunidad.
- Fase 4 Participación y consenso

Los códigos, estándares y prácticas reducen impactos y costos, pero deben ser comprendidos, incorporados y aplicados por las comunidades.

Necesidad de contar con un sistema integrado de mapas de riesgo

El siguiente diagrama muestra los diferentes tipos de mapas de amenazas y riesgos que aportan a las estrategias de prevención y gestión de desastres. Los mapas se clasifican en a) mapas de información geográfica, b) mapas de planificación para la protección, c) mapas de crisis para las gestiones durante el evento de desastre, d) mapas de respuesta para emergencia, y e) mapas de recuperación en el tiempo. Todo esto considerado como parte un sistema de comunicación de riesgos a la población.



Figura 98. Diagrama de mapas para la prevención y gestión de desastres.

Fuente: Elaboración propia en base a Ute J. Dymon & Nancy L. Winter, Kent State University / FEMA

Orientaciones para la planificación

Entre los conceptos que entregan orientaciones para la planificación se pueden destacar los siguientes puntos:

- No se puede pensar que sólo la tecnología es capaz de proteger a las comunidades cercanas a los epicentros de terremotos y tsunamis.
- Importancia de la respuesta de la comunidad por sobre las condiciones tecnológicas instaladas, disponibles y operativas.
- Las comunidades deben estar informadas y ser capaces de reconocer las señales y llegar a zonas seguras.
- Las comunidades deben estar informadas respecto de las zonas de riesgos y las autoridades deben contar con la mayor cantidad de información que permita la toma de decisiones.

- En los procesos de decisión en cuanto a la regulación normativa de los territorios en riesgo se deberá considerar el rol que cumplen los territorios en el sistema de cada localidad.
- En el caso de tsunami los instrumentos específicos recomendados: a) Mapas con modelaciones de inundación, b) Desarrollo de planes de tsunami específicos que incluyan procedimientos de evacuación, c) Explicaciones de procedimientos de alertas de tsunami.

Nuevas aproximaciones a las amenazas naturales

- Generar guías que mejoren la habilidad de mitigar amenazas
- Adoptar una perspectiva de sistemas globales. Visión amplia de la interacción entre los sistemas dinámicos físicos de la tierra, los sistemas humanos y la infraestructura construida.
- La responsabilidad está en la manera en que el desarrollo humano se producirá. La respuesta no está en la tecnología necesariamente, sino que el mejoramiento de la gestión local.
- Anticipar la ambigüedad y el cambio. Rechazar el pensamiento de corto plazo.
- Considerar las fuerzas sociales. Considerar cómo operar el mercado libre.
- Adoptar principios de desarrollo sustentable. Desastres degradan el ambiente y bajan la calidad de vida. Actividades sustentables debe fortalecer resiliencia ambiental, económica y social de la comunidad y viceversa.
- Fomentar la sustentabilidad local. Para que la comunidad pueda tolerar el daño, la disminución de productividad y reducción de calidad de vida. Sustentabilidad está en la responsabilidad de elegir dónde se procederá con el desarrollo.

Orientaciones para la mitigación de amenazas naturales

Objetivos que deberían ser alcanzados simultáneamente:

- Mantener y mejorar la calidad ambiental: mitigaciones no deberían reducir las capacidades de los ecosistemas.

- Mantener y mejorar la calidad de vida de la gente: esta calidad incluye acceso a ingresos, educación, salud, vivienda y empleo, tanto como la protección a los desastres. Las comunidades deben definir la calidad de vida que se espera y seleccionar las estrategias de mitigación que no atenten contra esa visión.
- Fomentar la capacidad de recuperación local y resistencia a los desastres: responsabilidad significa que una localidad puede soportar un evento natural extremo con un nivel tolerable de pérdidas. Mitigaciones deben considerar estos niveles.
- Reconocer que las economías locales son esenciales: mitigaciones deben fomentar las economías locales.
- Asegurar la equidad intergeneracional e intrageneracional: mitigaciones que reduzcan los riesgos por igual en todos los grupos sociales. Los costos de los avances de hoy en día no se desplacen a las generaciones más tarde o los grupos más vulnerables.
- Adoptar consenso local: mitigaciones que se desarrollan a partir de la plena participación de todos los actores públicos y privados. El propio proceso de participación puede ser tan importante como el resultado.
- Unificar los sistemas de alerta, desarrollar modelos comprensivos y proveer la información con asistencia técnica a nivel local.
- Alertas de corto plazo no limitan significativamente el daño al medio construido, ni tampoco atenúan las perturbaciones económicas provocadas por los desastres.

3.7.2 PLANES ESTRATÉGICOS ESTRUCTURADOS EN ZONAS DE GESTIÓN INTEGRADA

La implementación de las diversas acciones de prevención y reconstrucción que se realizarán en los años venideros, en muchos casos considerarán como insumos los productos de este estudio. Se considera relevante para la capitalización de la integralidad de análisis y propuesta del presente estudio que las citadas acciones tomen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las diversas intervenciones deberían ser parte de Planes Estratégicos de Reconstrucción liderados por los gobiernos locales con apoyos adhoc por parte de las instituciones regionales y locales. Más allá de los nombres y experiencias actuales, una reconstrucción eficaz y eficiente exige la formalización e institucionalización de herramientas estratégicas que integren la acción del Estado.

- Las acciones sectoriales, regionales y locales (ejemplo en Figura 99, números 1, 2 y 3) deberían focalizarse en áreas prioritarias que generen sinergia y por lo tanto, confianza en los procesos. Estas zonas prioritarias pueden ser definidas como Zonas de Gestión Integradas (ZGI) ver Figura 99. Estas zonas pueden integrar acciones de diversos tipos como las que se indican en la Tabla 109. La tabla identifica las acciones recomendadas por PRES (Planes de Reconstrucción Sustentable – municipios y MINVU), PRU (Planes de Regeneración Urbana – MINVU) y RER (Recomendaciones del Estudio de Riesgos – SUBDERE).

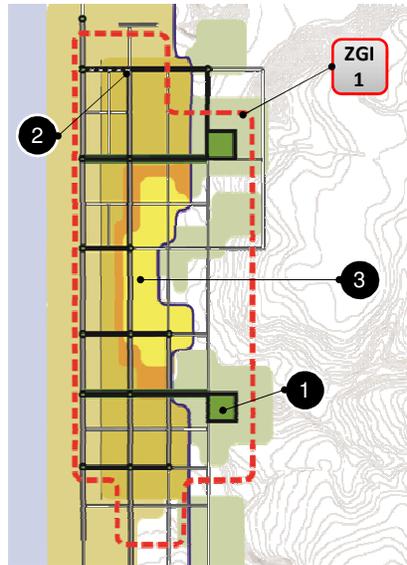


Figura 99. Esquema de zona de gestión integrada ZGI.

Fuente: Elaboración propia en base a Moris (2009-B)

- Las diversas intervenciones deberían ser parte de Planes Estratégicos de Reconstrucción liderados por los gobiernos locales con apoyos adhoc por parte de las instituciones regionales y locales. Más allá de los nombres y experiencias actuales, una reconstrucción eficaz y eficiente exige la formalización e institucionalización de herramientas estratégicas que integren la acción del Estado.

Tipo	Definición Tipo	Subtipo	Definición Subtipo
A	Proyectos Existentes: Se trata de proyectos de rehabilitación cuyos antecedentes disponibles permiten iniciar obras en el corto plazo .	A1	Existente reposición: Obras de reposición de proyectos preexistentes al día del terremoto y dañados directamente por sus efectos.
		A2	Existente mejoramiento: Obras que disponen de antecedentes previos parciales o totales y que requieren una intervención.
B	Proyectos Nuevos Tácticos: Se trata de proyectos de rehabilitación cuyos antecedentes tiene como origen los distintos IPT y que pueden iniciar obras en el mediano plazo .	B1	Nuevo en IPT: Obras que se originan de las modificaciones y actualizaciones de los IPT existentes o sus modificaciones.
		B2	Nuevo en PRES/PRU/RER: Obras que se originan en la cartera de recomendaciones o proyectos producto directo de los efectos del 27F.
C	Proyectos Nuevos Estratégicos: Se trata de proyectos de rehabilitación que requieren estudios y deberán iniciar en el SIN el ciclo natural, cuyas obras se deben programar en un largo plazo .	C1	Nuevo sectorial/regional: Obras que se originan producto de variables estratégicas de objetivos nacionales o regionales para proyectos de gran envergadura.
		C2	Nuevo PRES/PRU/RER: Obras que se originan producto en la cartera de recomendaciones o proyectos producto directo de los efectos del 27F.

Tabla 109. Cuadro de tipología de acciones de prevención y reconstrucción.

Fuente: IEU PRES_Pelluhue

3.7.3 INTEGRACIÓN Y CONVERGENCIA DE INSTRUMENTOS E INSTITUCIONALIDAD

Uno de los temas de mayor relevancia en cuanto a la capitalización de la información de riesgos disponible está asociado a los procesos de fortalecimiento de los instrumentos de planificación territorial. En esta línea cobra relevancia la formalización y desarrollo de los nuevo Planes Regionales de Ordenamiento Territorial PROT y el fortalecimiento de sus atribuciones regulatorias.

Este tipo avances vendrán a reforzar las capacidades de planificación del territorio a escala regional. Los gobiernos regionales han venido conformando una nueva institucional y ya cuenta con importantes avances como lo ha sido la generación de las zonificaciones de borde costero. Esta experiencia ha sido liderada por la Comisión Nacional de Uso del Borde Costero (CNUBC) y las distintas Comisiones Regionales de Uso del Borde Costero (CRUBC).

En la Tabla 110 se pueden identificar los diversos instrumentos disponibles y algunos que deberían ser desarrollados. Entre ellos se destacan los Planes de Gestión Integrada (PGI) que pueden establecer importantes vínculos entre los instrumentos regulatorios y los necesarios planes de inversión comunal, regional y sectorial.

	Estratégico	Regulatorio	Inversión
Nacional	Política Nacional de Desarrollo Territorial	Constitución, Leyes y Ordenanzas	Presupuesto Nacional y Sectorial
Regional	Estrategia de Desarrollo Regional (EDR)	(Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT))	Planes de inversión regional / FNDR + Planes MOP / MTT
Intercomunal	Zonificación del borde costero (CNUBC)	Plan Regulador Intercomunal (PRI)	
Comunal	Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) Planes Maestros (PRES-PRU) Planes de Gestión Integrada (PGI)	Plan Regulador Comunal (PRC) Plan Seccional Límite Urbano	Planes de inversión comunal

Tabla 110. Cuadro de instrumentos de planificación territorial.

Fuente: Elaboración propia.

Modernización del sistema de información y gestión territorial

Asociado al ítem anterior, se debe destacar la necesaria modernización del sistema de información y gestión territorial. Si bien se han generado importantes avances en la definición de políticas y procedimientos en la generación y gestión de información territorial a través del Sistema Nacional de Información Territorial, éste ha sido insuficiente.

También se pueden mencionar las orientaciones establecidas por el PMG (Programa de Mejoramiento de la Gestión) de la Gestión Territorial Integrada. Sin embargo, este programa no ha logrado cambiar “la cultura de la sectorialización”. Situación que tiene su mayor referencia en el Comité de Ministros de la Ciudad y el Territorio que con diversas denominaciones y énfasis no ha logrado constituirse formalmente en el centro neurálgico de la toma de decisiones de comprensión territorial.

A estos referentes se les pueden sumar otras experiencias en desarrollo como el Programa País Digital y la revolución de información que debería generar la llegada del Satélite Chileno. Todos estos ejemplos, se constituyen en desafíos para la conformación de un adecuado Sistema nacional de información y gestión de riesgos naturales y desarrollo que sea capaz de enfrentar los desafíos que impone a la gestión territorial la meta nacional de constituirse a corto plazo en país desarrollando teniendo en cuenta tanto la competitividad del territorio como la calidad de vida de sus habitantes.

Infraestructura	MOP; MINVU; SERVIU; SUB. TRANSPORT.; SUBTEL; SS. SANITARIOS; SECTRA; MINSAL; MINEDUC; ONEMI; MINJUS, CONAMA, CORREOS, EFE, METRO	Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT)	Sistema nacional de información y gestión de riesgos naturales y desarrollo	Comité de Ministros de la Ciudad y el Territorio + Ministerio de Economía, Ministerio de Educación y otros
Social	MIDEPLAN; CONADI; INTEGRA; INJUV; FOSIS; CH.DEP; FONADIS; CONACE; ONEMI; SENAME; INDAP; MINSAL; INE; MINEDUC; MINTRAB; SERNAM; MINJUS; MININT; A.MAYOR			
Recursos naturales	CIREN; CONAMA; INFOR; CONAF; SERNAGEOMIN; SERNAPECA; IFOP; SAG; ODEPA; DMC; DGA, SUBPESCA;			
Información territorial básica	IGM, SHOA, SAF, CIREN			
Propiedad	SII; MBN; CBR; CIREN; SERVIU; SERNAGEOMIN; INE; TESORERIA, MOP, ACH. MUNI.; MINVU; ODEPA			
Patrimonio	DIBAM, CNCR; SERNATUR; CMN; CONAF; CONICYT; MOP; MBN; CONADI; CIREN; CONAMA; B. CONGRESO; SCH. ARQUEOLOGIA			
Planificación territorial	MINVU; MOP; MINTRATEL; MBN; MINAGRI; MIDEPLAN; CONAMA; SUBDERE			
Regiones y comunas	SUBDERE; GOBIERNOS REGIONALES; SINIM / ASOC. MUNICIPALIDADES			

Tabla 111. Cuadro de síntesis de instituciones y tipos de información administrada junto con propuesta de sistema nacional de información y gestión de riesgos naturales y desarrollo.

Fuente: Elaboración propia.

4 BIBLIOGRAFÍA

4.1 BIBLIOGRAFÍA GENERAL

1. Aguilera, M. A. (2007). Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca.
2. Barrientos, S. 2010. Terremto Cauquenes 27 de febrero de 2010. Informe Técnico actualizado al 27 de mayo de 2010. Servicio Sismológico de la Universidad de Chile. p.20.
3. Bedient, P. B., and Huber, W. C. (2002). Hydrology and floodplain analysis, 3rd Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, EE.UU.
4. Chin, D. A. (2006). Water-Resources Engineering. Pearson Education, Inc, Upper Saddle River, EE.UU.
5. Chow, V. T, Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1988). Hidrología Aplicada, McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
6. Chow, V. T. (1988). Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
7. CIREN, 1997. Descripciones de Suelos Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico VII Región. Publicación CIREN N°117.
8. CIREN, 2002. Descripciones de Suelos Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico VI Región. Publicación CIREN N°114.
9. Donati, L., Turín, M, 2002. An Objective Method to Rank the Importance of the Factors Predisposing to Landslides with the GIS Methodology: Application to an Area of the Appennines (Valnerina; Perugia, Italy). Engineering Geology N° 63, Elsevier, 277-289.
10. Egbert, G. y Erofeeva, S. (2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 19, 183-204.
11. Encinas, A., Le Roux, J., Buatois, L., Nielsen, S., Finger, K., Fourtanier, E., Lavenu, A, 2006. Nuevo Esquema Estratigráfico para los Depósitos Marinos Mio-Pliocenos del área de Navidad (33°00`-34°30`S), Chile Central. Revista Geológica de Chile, Vol 33, N°2, SERNAGEOMIN, 221-246.

12. ESSBIO S.A. (2010). Embalse Nilahue. Declaración de Impacto Ambiental (DIA) disponible en el sitio WEB de Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (<https://www.e-seia.cl>).
13. FEMA & NOAA. 2008. Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis. P646. P. 176
14. Gobierno regional de Tarapacá, División de Planificación y Desarrollo Regional, Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial, 2010. Identificación de áreas pobladas expuestas a potenciales inundaciones por tsunami.
15. Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. New Cork: Wiley & Sons, 2nd Edition.
16. Hauser, A., 1993. Remociones en Masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín Nº.45, 7-49.
17. Hought, Susan et al. (2010) "Localized damage caused by topographic amplification during the 2010 M 7.0 Haiti earthquake" Nature Geoscience 3 , 778–782 (2010) 15 June 2010. Published online 17 October 2010.
18. Keulegan, G.H., 1938. Laws of turbulent flow in open channels. Journal of Research of the United States National Bureau of Standards.
19. Koshimura, S; Yanagisawa, H. 2007. Developing fragility functions for tsunami damage estimation using the numerical model and satellite imagery. 5th International Workshop on Remote Sensing Applications to Natural Hazards. Washington DC, p. 1-6.
20. Lagos, M; Cisternas, M; Mardones, M. 2008. Construcción de viviendas sociales en áreas de riesgo de tsunami. *Revista de la Construcción* Vol.7 Nº 2: 4-16.
21. Lee, S., Choi, J., Min, K, 2002. Landslide Suceptibility Análisis and Verification Using de Bayesian Probability Model. *Environmental Geology* Nº 43, 120-131.
22. MINVU y DICTUC (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. MINVU. Santiago.
23. MORIS, Roberto (2009-A) "Las mías, las tuyas y las nuestras". Ideas para una gestión integrada.
24. MORIS, Roberto (2009-B) – Estudio para planes estratégicos de tres ciudades interiores de Uruguay. Documento de trabajo.

25. National Tsunami Hazard Mitigation Program NOAA et al. (2001) - Designing for Tsunamis: Seven Principles for Planning and Designing for Tsunami Hazards-. Estados Unidos: mayo, 2001.
26. Rodríguez C. (1974). Determinación de Hidrogramas Unitarios Sintéticos en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Católica de Chile, Santiago.
27. Rossman, L. A. (2009). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, EPA/600/R-05/040, U.S. Environmental Protection Agency, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Oh.
28. Sepúlveda, S.A, 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Caña, Región Metropolitana. Mejoría para optar al Título de Geólogo, Departamento de geología, Universidad de Chile.
29. SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión Digital, Publicación Geológica Digital, No. 4, Versión 1.0, Base Geológica Escala 1:1.000.000, de SERNAGEOMIN.
30. SHOA. 1999. Instrucciones Oceanográficas N°2: Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea. Segunda Edición. Publicación n° 3202. p.26.
31. SHOA. 2003. Tablas de marea de la costa de Chile. Publicación n° 3009. p.247.
32. Shuto, N. 1993. Tsunami intensity and disasters. In *Tsunamis in the World*, S. Tinti, ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 197-216.
33. Snyder, F. F. (1938). Synthetic Unit Hydrographs, Trans. Am. Geophysics. Union, 19, 447-454. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook (Sec. 4), US. Department of Agriculture, Washington, EE.UU.
34. Soeters, R., Westen, R.L, 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: A.K. Turner, Schuster, R.L., EDITS. Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, National research Council, Special Report 247, NAP, Washington D.C.,
35. Sturm, T.W. 2001. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York, NY.
36. UNESCO, Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2008. Preparación Para Casos de Tsunami, Guía Informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes.

37. Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD) (2001). Urban Storm Drainage Criteria Manual, 2007 revision. Denver, EE.UU. (http://www.udfcd.org/downloads/down_critmanual.htm).
38. US. Army Corps of Engineers (2010). HEC-River Analysis System 4.1 User's Manual Version 4.1. US. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, EE.UU.
39. USGS. 2010. USGS WPhase Moment Tensor Solution. En [http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2010/eq_100227_tfan/neic_tfan_wmt.html], visitado el 27 de febrero de 2010].
40. Varnes, D.J, 1978. Slope Movement types and Processes. In: Landslide, Analysis and Control, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 11-33.
41. Verni, F. y King, H (1977). Estimación de Crecidas en Cuencas no Controlas. Tercer Coloquio Nacional, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

4.2 BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA MEDIDAS DE MITIGACIÓN

4.2.1 BIBLIOGRAFÍA TSUNAMIS

1. Cisternas, Lagos, Mardones. *Construcción de Viviendas Sociales en Áreas de Riesgo de Tsunami*. Revista de la Construcción. Volumen 7 No 2 – 2008
2. A. Verdugo y J. Lizana. *Evaluación del efecto de tsunami sobre edificios*. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción – Chile
3. *Designing for Tsunamis, Seven Principles for Planning and Designing for Tsunami Hazards*. National Tsunami Hazard Mitigation Program. NOAA, USGS, FEMA, NSF, Alaska, California, Hawaii, Oregon, and Washington (March 2001)

BOSQUES COSTEROS:

4. Istiyanto, Dinar (2007). Application of mangrove forest for countermeasures against tsunami disaster. Indonesia.

5. Braatz. Susan, Fortuna. Serena, Broadhead. Jeremy and Leslie. Robin (2007). Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees?. Proceedings of the Regional Technical Workshop, Khao Lak, Thailand, 28–31 August 2006.
6. Environmental Justice Foundation Charitable Trust, Mangroves: Nature's defence against Tsunamis.

DUNAS:

7. Hart. Deirdre, Knight. Gemma(2009). Geographic Information System Assessment Of Tsunami Vulnerability on a Dune Coast.
8. Naveen Namboothiri, Devi Subramaniam, B. Muthuraman, Aarathi Sridhar, Sudarshan Rodríguez and Kartik Shanker (2008). Beyond the Tsunami: Coastal Sand Dunes of Tamil Nadu, India - An Overview.
9. Consuelo Castro. *Alteración antrópica sobre las dunas chilenas y su estado de conservación*. Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile. BOSQUE 13(1): 53-58, 199253
10. M Luisa Martínez. *Dunas Costeras*. Investigación y Ciencia, agosto, 2008

OBRAS CIVILES:

11. Tanaka. Shigenobu, Kuribayashi. Daisuke, Istiyanto. Dinar. (2008). Report on "UN/ISDR Comprehensive Tsunami Disaster Prevention Training Course".
12. MIRAI CAN Hall, National Museum of Emerging Science and Innovation. (2006). Book Of Abstracts The Second International Workshop On Coastal Disaster Revention, Tsunami and Storm Surge Disaster Mitigation.
13. Takahashi. S. (2005).Tsunami Disasters and Their Preventions in Japan Toward the Performance Design Of Coastal Defenses.
14. J. K. Patterson. Edward, Makoto. Terazaki, Masashi. Yamaguchi. (2006). The impact of tsunami in coastal areas: Coastal protection and disaster prevention measures— Experiences from Japanese coasts.

4.2.2 BIBLIOGRAFÍA INUNDACIONES.

15. ASCE (American Society of Civil Engineers). (2008). Sedimentation Engineering: Processes, measurements, and practice.
16. ICPR (International Commission for the Protection of the Rhine). (2002). Non structural flood plain management – measures and their effectiveness report.
17. Kundzewicz, Z. (2002). Non-structural flood protection and sustainability. *Water International*, 27, 3-13.
18. LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser). (1995). Guidelines for forward-looking flood protection.
19. Ministerio de Obras Públicas. (1997). Decreto Supremo N°850.
20. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. (2004). Diagnóstico y proposición Plan Maestro de Manejo de cauces naturales, cuenca del Río Mapocho hasta el estero Las Hualtatas, Región Metropolitana. EIC Ingenieros Consultores.
21. Ministerio de Obras Públicas. (2008). Ley 24.304 sobre la operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas.
22. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. (2010). Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Constitución.
23. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1996). Guía de Diseño, Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos.
24. Poulard, Ch., Lafont, M., Lenar-Matyas, A. y Lapuszek, M. (2010). Flood mitigation designs with respect to river ecosystem functions – A problem oriented conceptual approach. *Ecological Engineering*, 36, 69-77.
25. Town of Weston. (2010). Floodplain Management Regulations.

(<http://www.westonct.gov/media/file/FloodplainRegulationsFINALJune182010.pdf>)
26. USACE (U.S. Army Corps of Engineers). (1994). Hydrologic engineering analysis concepts for cost-shared flood damage reduction studies. Engineering pamphlet 1110-2-10.
27. USACE. (1994). Hydraulic design of flood control channels. Engineering manual 1110-2-1601.
28. USDA (U.S. Department of Agriculture). (1996). Engineering Field Handbook, Chapter 16, Streambank and Shoreline Protection.

29. USDA. (2002). Streambank and Shoreline Protection Manual.
30. UN/ECE (United Nations and Economic Commission for Europe) (2000). Guidelines on sustainable flood prevention.
31. Water Directors of the European Union (2004). Best practices on flood prevention, protection and mitigation. (http://www.flood.org/PDF/Intl_BestPractices_EU_2004.pdf)
32. Jianmig Ma, Xuming Tan and Nianqiang Zhang (2010). Flood Management and Flood warning system in China. Publicado en línea en InterScience (www.interscience.wiley.com).
33. H. Apel , G. T. Aronica, H. Kreibich, A. H. Thielen (2008). Flood risk analyses—how detailed do we need to be?
34. Kundzewicz, Zbigniew W.(2002) 'Non-structural Flood Protection and Sustainability', Water International, 27: 1, 3 — 13
35. Erich J. Plate. (2002). Flood risk and flood management, Alemania.
36. Wood, John and Gendebien, Anne (2005). The Impacts of coastal flooding, Flood zapping and planning.

4.2.3 BIBLIOGRAFÍA REMOCIÓN EN MASA

37. Lynn M. Highland, United States Geological Survey, and Bobrowsky. Peter, Geological Survey of Canada (2007). The Landslide Handbook— A Guide to Understanding Landslides. EE.UU.
38. Lara C, Marisol y Sepúlveda V, Sergio Barrientos, S. 2008. Terremoto Cauquenes 27 de febrero de 2010. Remociones en masa, apuntes del curso año 2008. Chile.