

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE VALDIVIA

ETAPA 2

DIAGNÓSTICO INTEGRADO

ANÁLISIS DE RIESGOS

EQUIPO TECNICO PROFESIONAL**A: EQUIPO PROFESIONAL PERMANENTE**

Código CV	FUNCIÓN	PROFESIÓN	NOMBRE	INICIALES
11_RP	Responsable Área de Riesgos	Geólogo	Rodrigo Rauld Plott	RR

B: EQUIPO PROFESIONAL ADICIONAL

Código CV	FUNCIÓN	PROFESIÓN	NOMBRE	INICIALES
	Elaboración del Estudio de Riesgos	Geóloga	Carolina Geoffroy Gómez	CG
	Elaboración del Estudio de Riesgos	Geólogo	Diego Castañeda Meza	DC
	Elaboración del Estudio de Riesgos	Geólogo	José Estay Herrera	JE
	Elaboración del Estudio de Riesgos	Geólogo	Felipe García-Huidobro	FGH

CAPITULO I

ANALISIS DE AMENAZAS O SUSCEPTIBILIDAD

Contenido

1. Introducción.....	8
1.1. Marco Jurídico.....	8
1.2. Objetivos.....	10
1.3. Alcances y limitaciones	10
1.4. Ubicación del área de estudio	11
1.5. Metodología general del estudio.....	12
1.5.1. Recopilación y revisión de antecedentes	13
1.5.2. Elaboración de líneas de base	13
1.5.3. Catastro de amenazas	14
1.5.4. Diagnóstico de amenazas	14
1.5.5. Elaboración de mapas de amenaza	14
2. Recopilación de antecedentes.....	15
2.1. Insumos bibliográficos.....	15
2.1.1. Insumos para elaboración de catastros.....	15
2.1.2. Insumos para elaboración de líneas de base.....	16
2.1.3. Insumos para elaboración de diagnósticos	17
2.1.4. Insumos generales	19
2.2. Insumos cartográficos.....	20
2.3. Entrevistas y reuniones.....	22
2.4. Ajustes de amenazas identificadas	22
2.4.1. Sismicidad.....	22
2.4.2. Volcanismo	22
2.4.3. Inundaciones litorales.....	23
2.4.4. Inundaciones terrestres.....	23
2.4.5. Remociones en masa	23
2.4.6. Emanación de gases	23
3. Diagnóstico.....	24
3.1. Líneas de base	24
3.1.1. Contexto Geodinámico	24
3.1.2. Geología.....	27
3.1.3. Geomorfología	36
3.1.4. Clima	43
3.1.5. Hidrografía	44
3.2. Inventario o Catastro de amenazas	45
3.2.1. Sismicidad.....	45
3.2.2. Inundaciones litorales.....	48
3.2.3. Inundaciones terrestres.....	48
3.2.4. Remociones en masa	58
3.3. Diagnóstico de amenazas.....	84
3.3.1. Sismicidad.....	84
3.3.2. Inundaciones litorales.....	88
3.3.3. Inundaciones terrestres.....	89
3.3.4. Remociones en masa	97
3.4. Consideraciones generales sobre cambio climático.....	101
4. Zonificación.....	104
4.1. Definición y aplicación de metodologías.....	104
4.1.1. Inundaciones litorales.....	104
4.1.2. Inundaciones terrestres.....	105
4.1.3. Remociones en masa	107

4.2. Asignación de niveles de susceptibilidad y mapas de amenaza.....	111
4.2.1. Inundaciones litorales.....	111
4.2.2. Inundaciones terrestres.....	113
4.2.3. Remociones en masa.....	117
5. Conclusiones y recomendaciones	121
5.1. Zonificación de la susceptibilidad	121
5.2. Conclusiones y recomendaciones	123
5.2.1. Inundaciones litorales.....	124
5.2.2. Inundaciones terrestres.....	124
5.2.3. Remociones en masa.....	125
6. Bibliografía	126
7. Apéndices	133
7.1. Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio	133
7.2. Descripción de los peligros geológicos analizados	136
7.2.1. Procesos internos o endógenos de la Tierra	136
7.2.2. Procesos externos o exógenos de la Tierra	148
7.3. Actas reuniones.....	163

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1 Ubicación del área de estudio.....	12
Ilustración 1-2 Metodología general del estudio.	13
Ilustración 2-1 Áreas de levantamiento cartográfico. Polígono en rojo corresponde a escala 1:1.000 y polígono en amarillo a escala 1:5.000.	21
Ilustración 2-2 Área de levantamiento cartográfico en Cayumapu para este estudio.	21
Ilustración 3-1 Marco Geodinámico General. En rojo se destaca la región de Los Ríos donde se encuentra la comuna de Valdivia. La línea negra con triángulos muestra la fosa Perú-Chile. Los triángulos naranjas corresponden a volcanes pleistocenos, y los triángulos amarillos a volcanes holocenos.	26
Ilustración 3-2 Complejo Metamórfico Bahía Mansa (PzTrbm) en ladera E-O ruta Niebla-Curiñanco, en localidad San Ignacio.	31
Ilustración 3-3 Mapa litológico.....	32
Ilustración 3-4 Mapa de estructuras geológicas.	35
Ilustración 3-5 Mapa de altitudes.	38
Ilustración 3-6 Mapa de pendientes.	39
Ilustración 3-7 Unidades geomorfológicas reconocidas en visita a terreno.....	41
Ilustración 3-8 Mapa geomorfológico.....	42
Ilustración 3-9 Mapa de catastro de inundaciones terrestres.....	57
Ilustración 3-10 Mapa de catastro de remociones en masa.....	83
Ilustración 3-11 Respuesta sísmica suelos Valdivia (amplificación sísmica).	85
Ilustración 3-12 Mapa de infraestructura crítica sobre amplificación sísmica por efecto de sitio ante terremoto.	86
Ilustración 3-13 Mapa de resultados de la interpolación de los períodos predominantes HVSR en Valdivia.	87
Ilustración 3-14 Ejemplo de inundación por desborde de cauce en la localidad de Las Ánimas.....	91

Ilustración 3-15 Ejemplo de humedal interior del sector Las Gaviotas generado por el hundimiento de 1960.	92
Ilustración 3-16 Ejemplo de terraza fluvial del río Calle Calle en el sector Manantiales.	92
Ilustración 3-17 Ejemplo de llanuras fluviales interiores.	93
Ilustración 3-18 Ejemplo de anegamiento en calle Bertolotto.	94
Ilustración 3-19 Ejemplo de anegamiento en bajo topográfico en el sector Huelleshue.	95
Ilustración 3-20 Ejemplo de anegamiento en el sector Las Gaviotas.	95
Ilustración 3-21 Anegamiento en sector Collico, en calle Santa Ana con Blanco Encalada.	96
Ilustración 3-22 Ejemplo de deslizamiento de suelo en San Ignacio, ruta T-352.	97
Ilustración 3-23 Ejemplo de deslizamientos menores camino a Huelleshue, ruta T-35.	98
Ilustración 3-24 Ejemplo de deslizamiento de suelo en área urbana de Valdivia, en calle Clemente Escobar.	98
Ilustración 3-25 Ejemplo de aforamiento de rocas metamórficas del complejo metamórfico Bahía Mansa con alto grado de meteorización y formación de suelo residual.	99
Ilustración 3-26 Intervención antrópica entre Cutipay y San Ignacio.	100
Ilustración 4-1 Carta de Inundación por Tsunami del SHOA para Niebla. En el cuadro morado se muestra el área abarcada por esta carta.	104
Ilustración 4-2 Mapa de susceptibilidad por tsunami.	112
Ilustración 4-3 Mapa de susceptibilidad por inundación por desborde de cauce.	114
Ilustración 4-4 Mapa de susceptibilidad por inundación por anegamiento.	116
Ilustración 4-5 Mapa de amenaza por procesos de ladera.	118
Ilustración 4-6 Mapa de amenaza por flujos.	120
Ilustración 5-1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.	123
Ilustración 7-1 Etapas de evaluación de un evento geológico peligroso.	135
Ilustración 7-2 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud mayor que 5. Nótese cómo la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo.	136
Ilustración 7-3 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile.	137
Ilustración 7-4 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto).	138
Ilustración 7-5 Tipos de falla y esfuerzos asociados.	140
Ilustración 7-6 Tipos de ondas sísmicas.	141
Ilustración 7-7 Amplificación de la vibración generada por un terremoto.	142
Ilustración 7-8 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.	144
Ilustración 7-9 Clasificación de los tipos de inundación.	149
Ilustración 7-10 Mecanismo de formación de un maremoto asociado a un terremoto.	151
Ilustración 7-11 Comparación entre olas generadas por el viento y frente de olas de un maremoto.	152
Ilustración 7-12 Mecanismo de generación de maremotos por erupciones volcánicas submarinas.	153
Ilustración 7-13 Mecanismo de generación de maremotos asociados a deslizamientos.	153
Ilustración 7-14 Elementos básicos considerados en la escala de magnitud Inamura-lida,	156
Ilustración 7-15 Clasificación de tipos de remociones en masa en relación al movimiento que lo origina y el tipo de material constituyente de la ladera.	158
Ilustración 7-16 Ejemplos de deslizamientos. A Deslizamiento rotacional. B Deslizamiento traslacional.	162

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Homologación de “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC y amenazas evaluadas en este informe.	9
Tabla 3-1 Catastro de sismos e inundaciones litorales (tsunamis) en el área de estudio.	45
Tabla 3-2 Catastro de inundaciones terrestres a partir de bibliografía.	49
Tabla 3-3 Catastro de inundaciones terrestres a partir de prensa.	52
Tabla 3-4 Catastro de remociones en masa.	59
Tabla 4-1 Asignación niveles de susceptibilidad en función de la profundidad de inundación determinada por SHOA.	105
Tabla 4-1 Valores de razón de frecuencia utilizados para el mapa de susceptibilidad de procesos de ladera.	108
Tabla 4-2 Combinaciones razón de frecuencia ordenadas de menor a mayor.	109
Tabla 5-1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y criterios de zonificación de la susceptibilidad.	121
Tabla 7-1 Peligros asociados al volcanismo.	146
Tabla 7-2 Escala de grados de maremotos, según Inamura.	155
Tabla 7-3 Escala de grados de maremotos según lida.	155
Tabla 7-4 Escala de grados de maremoto según Inamura e lida, transcrita por Wiegel.	156

Índice de Gráficos

Gráfico 3-1 Temperatura media mensual entre los años 2011 – 2022.	43
Gráfico 3-2 Precipitaciones mensuales entre los años 2003 – 2022.	44
Gráfico 3-3 Temperatura media anual, escenarios A2 y B2 estación UACH.	102
Gráfico 3-4 Precipitación media anual, escenarios A2 y B2 estación UACH.	102

1. Introducción

Este documento corresponde al “Análisis de Amenazas o Susceptibilidad” que forma parte del Estudio de Riesgos y que, a su vez, es una de las componentes requeridas para la formulación o actualización del Plan Regulador Comunal (PRC). Según el artículo 2.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, el Estudio de Riesgos se incluye dentro de los estudios especiales que dan fundamento a las proposiciones incluidas en el PRC.

Los resultados de este trabajo corresponden a la evaluación y zonificación de las amenazas naturales que puedan afectar a la comuna de Valdivia. La zonificación de las amenazas naturales identificadas se basa fundamentalmente en el análisis de susceptibilidad para cada amenaza, y sirve de base para definir las áreas de riesgo para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT).

1.1. Marco Jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), en su artículo 2.1.17 indica que:

En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo”, según sea el caso, como se indica a continuación:

Por “zonas no edificables”, se entenderán aquellas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole, suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.

En el marco de este informe, las “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por una amenaza natural. Esto ya que la zonificación se realiza a partir del análisis de factores condicionantes y mapas de susceptibilidad (ver las definiciones presentadas en los apéndices de este estudio).

En la Tabla 1-1 se presentan las amenazas naturales definidas en el artículo 2.1.17 del OGUC y la homologación con la nomenclatura utilizada en este informe.

Tabla 1-1 Homologación de “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC y amenazas evaluadas en este informe.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC	Amenazas naturales evaluadas en este informe		Descripción conceptual
1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos	Inundaciones terrestres	Por desborde de cauce	Apéndice 7.2.2.a)
		Anegamiento	
	Inundaciones litorales	Tsunamis	
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujos de barro y/o detritos.	Apéndice 7.2.2.b)
		Procesos de ladera	
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad		Apéndice 7.2.1
	Volcanismo		

Fuente: Elaboración propia en base al art. 2.1.17 de la OGUC (2023).

A continuación, se presenta la definición de las amenazas naturales utilizadas en este estudio y su relación con las definiciones en los numerales del artículo.

- Numeral 1 del Artículo 2.1.17 de la OGUC: “Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.”

El primer numeral del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde las amenazas naturales de inundaciones terrestres e inundaciones litorales, de acuerdo a las definiciones utilizadas en el presente estudio. Dentro de inundaciones terrestres se incluyen las inundaciones por desborde de cauces u otros cuerpos de agua, e inundaciones por anegamiento. En relación con las inundaciones litorales, estas pueden incluir tsunamis o maremotos y marejadas.

- Numeral 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC: “Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.”

El segundo numeral del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a las amenazas naturales de remociones en masa. Estas se analizan separadamente como: (1) flujos (de detritos, barro, entre otros), y (2) procesos de ladera (entendidos como aquellos desplazamientos de masas de tierra o

rocas que se encuentran en pendiente que ocurren debido a la inestabilidad de los materiales que forman la ladera, incluyendo caída de bloques, deslizamientos, retrocesos de laderas, entre otros).

- Numeral 3 del artículo 2.1.17 de la OGUC: “Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.”

Dentro del tercer numeral del Artículo 2.1.17 de la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, es decir, sismicidad (relacionado con la actividad de las fallas) y volcanismo (lahares, flujos u oleadas piroclásticas, caída de piroclastos y flujos de lava).

1.2. Objetivos

El objetivo del presente estudio consiste en identificar y delimitar las áreas susceptibles de ser afectadas por amenazas de origen natural, para proponer áreas de riesgo que permitan dotar a la comuna de Valdivia de un nuevo Plan Regulador Comunal, capaz de orientar y promover el desarrollo de las variadas actividades urbanas de la comuna.

Para cumplir con este objetivo, los objetivos específicos son los siguientes:

- Identificar las zonas en que la pendiente del terreno sea excesiva o sectores identificados por la actividad volcánica, inundación, erosión u otra amenaza natural.
- Caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes asociados a la ocurrencia de amenazas.
- Elaborar un diagnóstico de cada amenaza reconocida.
- Elaborar cartografía donde se delimiten las áreas que sean susceptibles a la ocurrencia de las amenazas y su zonificación (para aquellas amenazas que sean zonificables).

1.3. Alcances y limitaciones

En este estudio se propone una definición de las áreas de riesgos para la actualización del Plan Regulador Comunal de Valdivia mediante criterios objetivos. Cabe mencionar que en este estudio no se analiza la recurrencia de los peligros, no se busca generar un plan de evacuación, ni tampoco se propone medidas de mitigación.

La metodología general utilizada para desarrollar este estudio se describe en el capítulo 1.5. De forma simplificada, esta metodología consiste en caracterizar las componentes relevantes para las amenazas naturales y elaborar un catastro y diagnóstico de las amenazas que han afectado la comuna. Por último, se zonifican aquellas amenazas que sea posible dadas sus características y/o según los antecedentes disponibles, y se representa esta zonificación mediante mapas de amenaza.

Las principales limitaciones que tiene la metodología aplicada son:

1. Existen zonas que pudiendo haber sido afectada por amenazas en el pasado, posiblemente al no estar habitada, no exista un registro sistemático de estos eventos, pese a esto, se intentó construir un catastro lo más completo que la información permitía.

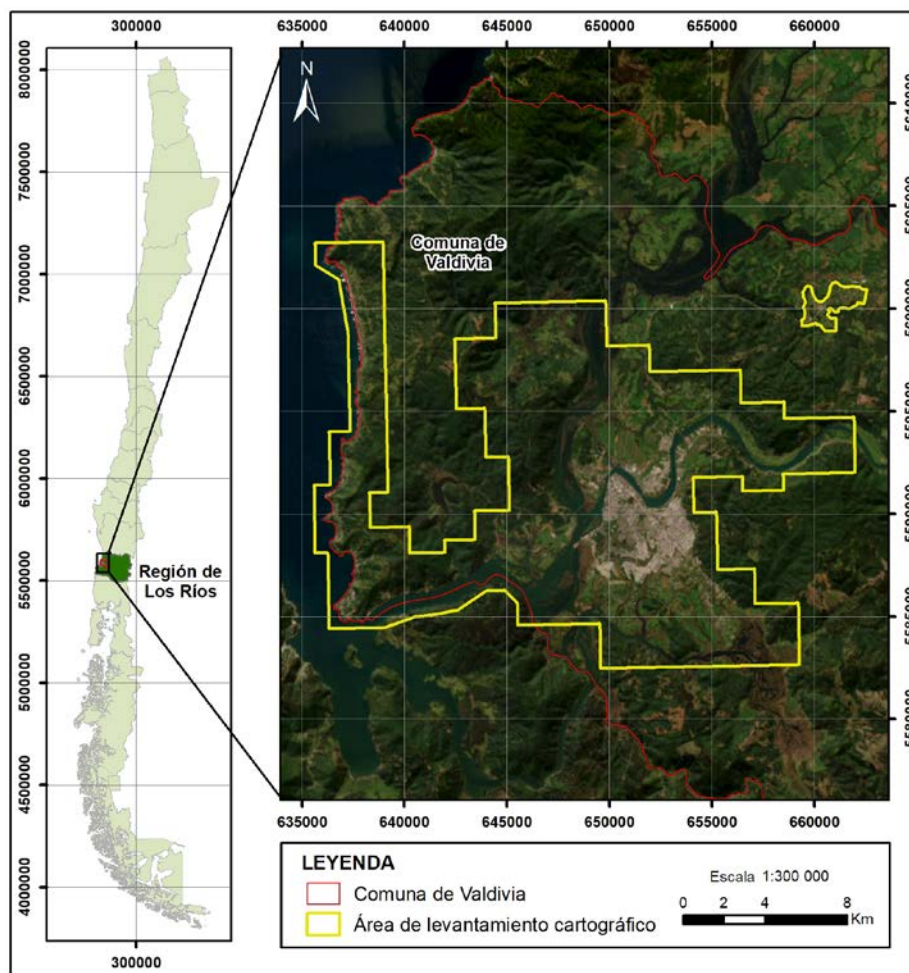
2. Se debe considerar que los resultados son una aproximación de la realidad, que incorporan supuestos y simplificaciones, y que, en caso de ocurrir la amenaza estudiada, pueden desarrollarse cosas diferentes a lo predicho.
3. El levantamiento topográfico utilizado en este estudio considera un área a escala 1:1.000 y el resto a 1:5.000. Esto implica que en las zonas donde la escala de levantamiento fue de 1:5.000 el resultado del modelo de elevación digital es poco fiable en zonas de baja pendiente y cercanas a los ríos respecto a su distancia vertical.
4. Este estudio se elaboró a escala 1:5.000, lo que implica que no es posible analizar amenazas resultantes de los procesos estudiados para sectores aproximados de 5 m o menores.

1.4. Ubicación del área de estudio

El área de estudio corresponde al área de levantamiento cartográfico definido para el Estudio de Actualización Plan Regulador de Valdivia (Ilustración 1-1).

La comuna de Valdivia se encuentra en la provincia de Valdivia, en la región de Los Ríos. Corresponde a la capital regional, posee una superficie de 1.016 km² y limita al norte con las comunas de Mariquina y Máfil; al sur con las comunas de Corral y Paillaco; al este con la comuna de Los Lagos y al oeste, la comuna limita con el Océano Pacífico.

Ilustración 1-1 Ubicación del área de estudio.

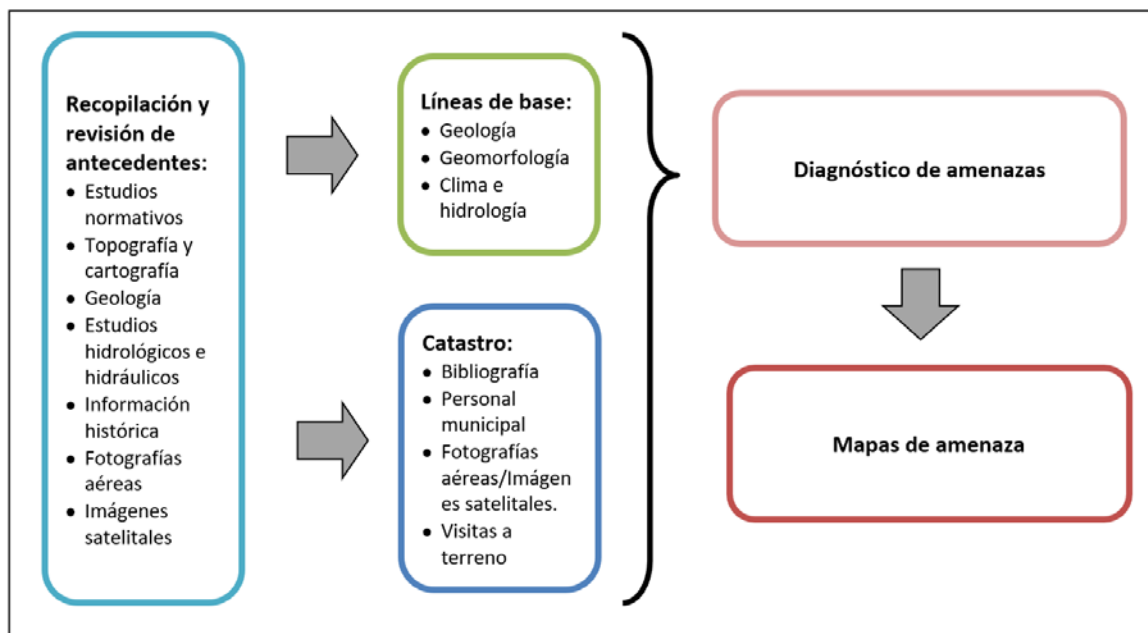


Fuente: Elaboración propia

1.5. Metodología general del estudio

En función de los objetivos propuestos, la metodología de este estudio está orientada a identificar, caracterizar y zonificar las amenazas de origen natural que pudieran afectar a la población y/o infraestructura dentro del área de estudio. Se consideran tanto las áreas ocupadas por la población como aquellas donde se puedan establecer nuevas poblaciones u obras de infraestructura, según corresponda. A continuación, se describe de manera general la metodología de este estudio (Ilustración 1-2).

Ilustración 1-2 Metodología general del estudio.



Fuente: Elaboración propia.

1.5.1. Recopilación y revisión de antecedentes

Se recopilaron y revisaron los antecedentes entregados por la municipalidad y otras instituciones del Estado, que fueron relevantes para la elaboración del estudio de riesgos de la comuna. Adicionalmente, se utilizó información disponible en instituciones públicas y privadas. La información recopilada corresponde a:

- Estudios de amenazas naturales con carácter normativo.
- Información topográfica y cartográfica, ya sea levantada para este estudio o en alguno anterior.
- Cartografía geológica de la comuna.
- Estudios hidrológicos e hidráulicos.
- Información histórica y estudios de carácter técnico relativos a peligros que han afectado a la comuna.
- Fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Los antecedentes recopilados, son la base para el desarrollo de este trabajo, y se complementaron con información generada durante el estudio. Ellos se utilizaron para la elaboración de las líneas de base, catastro, diagnóstico y para definir las metodologías más adecuadas al territorio comunal.

1.5.2. Elaboración de líneas de base

Se elaboraron líneas de base para caracterizar factores que se relacionan con la ocurrencia de las amenazas que pueden afectar a la comuna (los cuales son comúnmente denominados Factores

Condicionantes) y para identificar, en parte, aquellos sectores que son más propensos a su ocurrencia. De esta forma, la línea de base para el Estudio de Riesgos considera las siguientes componentes:

- Geología: se identifican y caracterizan los materiales (litología) y estructuras presentes en el territorio estudiado.
- Geomorfología: se reconocen y describen las geoformas presentes en el área de estudio, incluyendo la cuantificación de los parámetros morfométricos.
- Clima e hidrografía: en ella se describen las principales características climáticas, las cuencas aportantes y la red de drenaje.

1.5.3. Catastro de amenazas

Se elaboraron registros con los eventos que han afectado al área estudiada, que contienen, en la medida que es posible: tipo de amenaza, fecha de ocurrencia, tipo y magnitud de evento desencadenante, daños y fuentes de información utilizados. La información contenida en estos registros sirve para elaborar los diagnósticos de cada una de las amenazas estudiadas. Las fuentes de información que se utilizaron fueron:

- Fuentes bibliográficas.
- Reuniones con personal municipal.
- Reuniones con las oficinas regionales de instituciones del estado.
- Revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Visita a terreno.

1.5.4. Diagnóstico de amenazas

La información recopilada y generada, se sistematizó y se interpretó para identificar las áreas donde existen condiciones para que cierta amenaza las afecte. El resultado de esta actividad es un análisis de los factores condicionantes y desencadenantes a partir de la información disponible y las características físicas de las amenazas estudiadas. Los primeros permiten identificar los sectores que presentan condiciones más favorables para la ocurrencia de una amenaza, y los segundos, estimar la recurrencia de los eventos de la amenaza en cuestión. Además, a partir de este diagnóstico, se diferenciaron las amenazas que se pueden zonificar a escala de la comuna de aquellas que no son zonificables.

1.5.5. Elaboración de mapas de amenaza

A partir de los factores condicionantes reconocidos y el diagnóstico de las amenazas, se elaboró un análisis de susceptibilidad y se definieron criterios objetivos que permiten asignar niveles de amenaza en el territorio.

En términos generales, se asignó un nivel de susceptibilidad 'muy alta' a aquellas zonas que muy posiblemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento de la amenaza analizado, una susceptibilidad 'alta' a aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y susceptibilidad 'moderada' a las áreas afectadas

por eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero sí otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas.

2. Recopilación de antecedentes

2.1. Insumos bibliográficos

2.1.1. Insumos para elaboración de catastros

a) Catástrofes de Chile 1541-1992. Urrutia y Lanza (1993).

Realiza un compendio de las principales catástrofes ocurridas en Chile. Aporta información relativa a eventos de las distintas amenazas que han afectado a Chile, en particular a Valdivia.

b) Puntos críticos programa invierno 2022. SENAPRED.

El catastro cuenta con 26 puntos en la comuna de Valdivia. En cada uno de ellos se define una causa y se asigna un nivel de riesgo. El detalle de ellos se presenta en la siguiente tabla:

Causa punto crítico	Nivel de riesgo 2022			
	Bajo	Medio	Alto	Total
Inundación por desborde de cauces	4	5	1	10
Colapso de colectores de aguas lluvia/alcantarillados	5	3	2	10
Deslizamiento/Derrumbe/Rodado/Caída			4	4
Interrupción de camino			1	1
Flujos de barro/detritos (Aluvión)			1	1

c) A comprehensive database of active and potentially active continental faults in Chile at 1:25.000 scale. Maldonado, Contreras y Melnick (2021).

En este estudio se levanta una base de datos de las fallas activas de todo Chile. Probablemente corresponde a la base de datos más actualizada al respecto.

d) Eventos de anegamientos en el sector urbano Barrios Bajos, Valdivia, Chile, 1985-2012. Acuña (2015)

Informe de tesis que revisa eventos de anegamiento en Barrios Bajos a partir de prensa, y analiza estos eventos con respecto a precipitaciones y período de marea entre 1985 y 2012.

e) Asistencias e informes técnicos realizados por SERNAGEOMIN en la comuna de Valdivia.

Se cuenta con 38 documentos de asistencias técnicas realizadas en la comuna de Valdivia. En ellos se analizan principalmente zonas con remociones en masa de diferentes tipos. La mayor parte de ellas se encuentran en la zona costera de la comuna de Valdivia.

f) Zonificación de áreas expuestas a peligros de remoción en masa en la Región de Los Ríos. SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos (2023).

Este estudio está destinado a entregar información a nivel regional sobre la susceptibilidad y peligro de remociones en masa. Como parte del estudio, se construye un catastro de remociones en masa de toda la región, que incluye una gran cantidad de registros en la comuna de Valdivia y, en particular, en las áreas urbanas.

g) Prensa

Se revisaron distintos medios de prensa local, regional y nacional para identificar los eventos ocurridos en los últimos años.

2.1.2. Insumos para elaboración de líneas de base

a) Geología del área Valdivia-Corral. Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN (2012).

Carta geológica que incluye la mayor parte de la comuna de Valdivia. En particular, la carta incluye la totalidad de las áreas que se analizan en el marco de la actualización del Plan Regulador Comunal de Valdivia.

Muestra que dichas áreas se encuentran mayoritariamente sobre depósitos fluviales antiguos (Pleistoceno-Holoceno), depósitos fluviales y deltaicos (Pleistoceno) y rocas de las Formación Santo Domingo (Mioceno) y del Complejo Metamórfico Bahía Mansa (¿Devónico? -Triásico). También se identifican algunas remociones en masa recientes.

El mapa también reconoce algunas fallas de orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste. No se reportan antecedentes que pudieran indicar que alguna de estas fallas se encuentre activa.

b) Geología para el ordenamiento territorial: área Valdivia. Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN (2012).

Documento elaborado por SERNAGEOMIN que busca ser un apoyo para el ordenamiento territorial en el área de Valdivia. La cartografía abarca la mayor parte de la comuna de Valdivia y la totalidad de las áreas que se analizan en el marco de la actualización de Plan Regulador Comunal de Valdivia.

El texto explicativo del mapa incluye, entre otras cosas, la caracterización del levantamiento geológico y de los principales peligros geológicos presentes en el área.

c) El suelo de fundación de Valdivia. Barozzi y Lemke (1966). Instituto de Investigaciones Geológicas.

Mapa geológico de la ciudad de Valdivia (escala 1:7.500), que incorpora información respecto de los depósitos de origen antrópico, la ubicación de los edificios destruidos producto del terremoto de 1960 y delimitación de la zona inundada producto de la crecida ocurrida en junio de 1961. Esta crecida es la primera de gran magnitud después del terremoto de 1960.

d) **Hidrogeología de la cuenca del río Valdivia. Región de la Araucanía y Los Lagos. Escala 1:200.000. SERNAGEOMIN (2014).**

Este estudio levanta un mapa hidrogeológico de la cuenca del río Valdivia. Como parte de este estudio, se revisa la influencia de la geomorfología de la cuenca, se identifican y caracterizan unidades hidrogeológicas y se analiza la composición química de las aguas de la cuenca.

Este estudio aporta información respecto de la profundidad a la cual se encuentra el nivel del agua subterránea en la cuenca del río Valdivia, cuyos resultados son de utilidad para el análisis de las inundaciones en Valdivia.

e) **Estudio proposición técnica fijación deslindes Hualves Río Valdivia, ciudad de Valdivia. Prisma Ingeniería Limitada (2010).**

Este estudio sistematiza los antecedentes técnicos y legales necesarios para solicitar al Ministerio de Bienes Nacionales la fijación de los deslindes del sector de Hualves al sur de la ciudad de Valdivia. Para estos efectos, se realiza una caracterización hidrogeomorfológica, se analiza y diagnostican todos los factores relacionados con el cauce natural (zonas de inundación y erosión, deslindes, obras de protección fluvial, obras de arte, canales e infraestructura vial, uso de suelos adyacentes y uso turístico).

f) **Estudio técnico de definición deslindes humedal Santo Domingo, comuna de Valdivia, Región de Los Ríos. Con Potencial Consultores (2021).**

Este estudio busca dar protección a cuerpos de agua y ecosistemas que pudiesen encontrarse vulnerados producto del crecimiento de las áreas urbanas.

En el contexto de este estudio, se cuantifican los caudales aportantes relacionados con diferentes cuencas, se identifican zonas modificadas antrópicamente y se analizan las condiciones hidráulicas del humedal, entre otras cosas.

El resultado es una propuesta de deslinde del humedal mediante un modelo hidráulico. Este modelo incluye algunas áreas pobladas.

2.1.3. Insumos para elaboración de diagnósticos

a) **Plan comunal para la reducción del riesgo de desastres. Municipalidad de Valdivia (2014).**

Este documento, que busca planificar y gestionar el conjunto de actividades, iniciativas, proyectos y programas orientados a la reducción del riesgo de desastres en la comuna, identifica las siguientes amenazas naturales:

- Terremotos
- Inundaciones en sectores urbanos
- Remociones en masa: sector Cutipay hasta sector Niebla por ruta T-350, sector Costero Niebla, Los Molinos, San Ignacio, Las Vertientes, Pilolcura.
- Tsunami: en la costa de la comuna.

- b) Relaciones entre la geología de Valdivia (Chile) y los daños causados por los terremotos del 22 de mayo de 1960. Doyel, Moraga y Falcón (1960).

Este informe caracteriza las unidades geológicas de la ciudad de Valdivia mediante una columna estratigráfica, describe detalladamente las manifestaciones geológicas del terremoto y relaciona los daños del terremoto con la geología.

- c) Sismicidad asociada a la Falla Futrono entre noviembre de 2020 y febrero de 2023, localidad de Las Quemadas, comuna de Futrono, Región de Los Ríos. Carrasco y Vivallos (2023).

Se analiza la sismicidad de la Falla Futrono en toda la región. En el documento se incluye la sismicidad registrada en los últimos 60 años.

- d) Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Valdivia X Región. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores (2002).

Este estudio está orientado al diseño de obras para la evacuación y drenaje de aguas lluvias en la ciudad. Para ello se identifican los sectores críticos y se analizan las condiciones que los afectan.

- e) Actualización y ampliación cobertura plan maestro de aguas lluvias, Valdivia, XIV Región de Los Ríos. AyC Ingenieros Consultores Ltda. (2014).

En este estudio se actualiza y amplía el estudio realizado en el año 2002.

- f) Diseño definitivo de la red primaria del sistema de aguas lluvias de los Barrios Bajos en Valdivia, X Región. GSI Ingenieros Consultores (2004).

Estudio destinado a diseñar una solución para la evacuación de aguas lluvias en el sector mencionado. Busca ser un complemento al plan maestro de aguas lluvias de Valdivia. Considera 5 proyectos individuales: Clemente Escobar, Catrico, Yervas Buenas, Phillipi y Santiago Bueras.

- g) Recopilación y análisis de antecedentes para fijar deslindes de los bienes nacionales de uso público que constituye el cauce del río Valdivia. Instituto Nacional de Hidráulica (2003).

Se revisan detalladamente diferentes antecedentes históricos e hidráulicos para la fijación de los deslindes del río Valdivia. Estos antecedentes permiten comprender el funcionamiento de las crecidas de este río, lo que aporta información relevante para la construcción del diagnóstico asociado a las inundaciones por desborde de cauces.

- h) Resolución Exenta N° 391. (Ministerio de Bienes Nacionales (2023).

Define los deslindes de cauce en el Humedal Santo Domingo, basado en las zonas de inundación a partir de las zonas de inundación asociadas a un período de retorno de 5 años.

i) Resolución Exenta N° 296. (Ministerio de Bienes Nacionales (2009).

Define los deslindes de los cauces del estero Catrico, basado en las zonas de inundación a partir de las zonas de inundación asociadas a un período de retorno de 5 años.

j) Diseño varios colectores de aguas lluvias ciudad de Valdivia, Región de Los Ríos. GSI Ingeniería (2018).

Estudio destinado al diseño de ocho colectores en distintos sectores de la ciudad de Valdivia. Los colectores que se incluyen en este estudio son: (1) Colector B-17 Bertolotto – Catrico, (2) Colector B-06 General Lagos, (3) Colector B-13 Emilio Cock – Santiago Bueras, (4) Colector Balmaceda – Matta, (5) Mejoramiento Estero Collico A-39, (6) Mejoramiento Estero Leña Seca A-4, (7) Colector A-41 Picarte y (8) Colector E26 Sevilla.

k) Cartas Inundación por tsunami Niebla y Corral. SHOA (2019 y 2014, respectivamente).

Cartas que presentan los resultados de la modelación numérica de tsunami en las áreas aledaña a las localidades correspondientes. Incluyen el área costera de la comuna de Valdivia y las alturas de inundación por el río Valdivia hacia el interior, aproximadamente hasta el sector de Pino Huacho.

l) Volcanes de Chile. González-Ferrán (1994).

Atlas que analiza los volcanes de Chile, junto con su historia eruptiva. Entrega información útil para la caracterización de los volcanes que pudieran afectar a Valdivia.

2.1.4. Insumos generales

a) Actualización Plan Regulador Intercomunal Borde Costero y Sistema Fluvial. Región de Los Ríos. Urbe Arquitectos (2023).

El documento, que norma a las cuatro comunas costeras de la Región de Los Ríos, es una actualización del estudio anterior, desarrollado entre los años 2012 y 2014 y que no fue aprobado.

El estudio reconoce las siguientes amenazas en la comuna de Valdivia:

- Inundación por tsunami
- Inundación por desborde de cauces
- Inundación por anegamiento
- Remociones en masa

El estudio concluye que las amenazas naturales se concentran “en sectores costeros de baja ocupación humana, al igual que los cordilleranos”.

Además, “desde la perspectiva de los riesgos de inundación (por anegamiento) constituye especial importancias los: Ñadis, Turberas, Marismas, Vegas y Otros terrenos húmedos. Desde la perspectiva de los riesgos por erosión acentuada toman importancia las Playas y Dunas, y terrenos sin vegetación”.

b) **Valdivia Capital Sostenible Plan de Acción. Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) del Banco Interamericano de Desarrollo (2015).**

En este documento, el cual presenta un plan de desarrollo sostenible para el área urbana y comunal de Valdivia, presenta un estudio de riesgo ante amenazas naturales y cambio climático. En él se mapearon y analizaron las siguientes amenazas, que dividen en hidrometeorológicas, geofísicas y de desarrollo lento:

Amenazas hidrometeorológicas – inundaciones

Amenazas geofísicas – terremotos, tsunamis y remociones en masa.

Peligros de desarrollo lento – sequías, olas de calor y aumento del nivel del mar.

c) **Desarrollo Urbano y el Cambio Climático. Huella urbana e histórica, escenarios de crecimiento urbano y estudios básicos sobre mitigación y adaptación al cambio climático en Valdivia. Tarea 2. SUBDERE (2014).**

Este documento es un estudio llevado a cabo por la Universidad Católica de Temuco para la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. El informe final de la “Tarea 2” analiza las amenazas presentes en Valdivia, evalúa la vulnerabilidad y estima el riesgo asociado a estas amenazas.

El estudio considera las siguientes amenazas:

- Amenazas geofísicas: terremoto, tsunami y remociones en masa
- Inundación fluvial
- Peligros de desarrollo lento: sequías, olas de calor y aumento del nivel del mar.

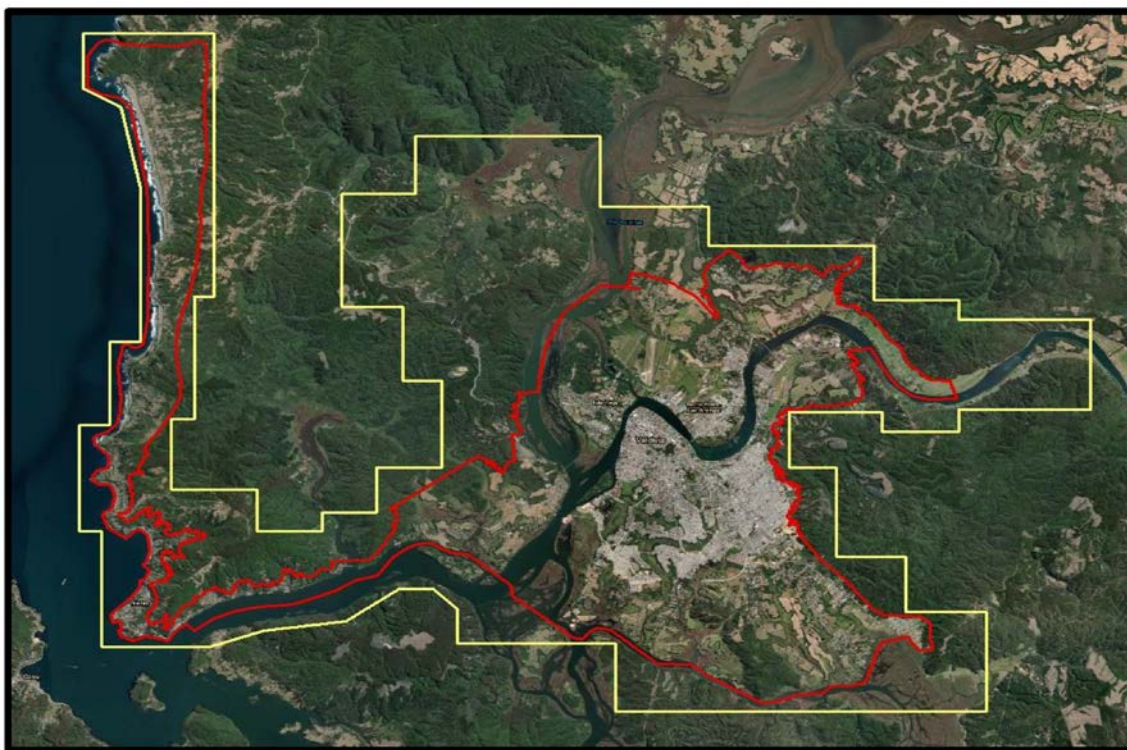
2.2. Insumos cartográficos

Mosaico digital orto-rectificado y coberturas de curvas y cotas del levantamiento desarrollado por el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile para la “Actualización de información territorial, comuna de Valdivia, región de Los Ríos” contratado por la Ilustre Municipalidad de Valdivia, en la Región de Los Ríos, durante el año 2022, el cual se realizó a dos escalas.

En la Ilustración 2-1 se muestra este levantamiento, donde el polígono en rojo corresponde el levantamiento realizado a escala 1:1.000 y el polígono en amarillo a escala 1:5.000. Las curvas y cotas entregadas fueron cada 1 m y 5 m respectivamente, a partir de los cual se generaron en este estudio modelos de elevación digital de 1 m y 5 m de resolución.

Por otro lado, se realizó un levantamiento cartográfico para este estudio, específicamente para el área de Cayumapu, cuyo producto entregado para la elaboración de este estudio fue un modelo de elevación digital de 0,5 m de resolución. El área de este levantamiento se muestra en la Ilustración 2-2.

Ilustración 2-1 Áreas de levantamiento cartográfico. Polígono en rojo corresponde a escala 1:1.000 y polígono en amarillo a escala 1:5.000.



Fuente: Informe “Estudio Aerofotogramétrico Actualización de Información Territorial, comuna de Valdivia” por Servicio Aerofotogramétrico, Fuerza Aérea de Chile.

Ilustración 2-2 Área de levantamiento cartográfico en Cayumapu para este estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de levantamiento cartográfico.

2.3. Entrevistas y reuniones

Se realizaron reuniones con actores relevantes para el estudio, representantes de organismos del estado regionales y de la municipalidad de Valdivia.

- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) oficina regional – John González.
- En esta reunión se abordó principalmente la existencia zonas críticas en relación con inundaciones por desborde de cauce o anegamiento, información sobre colectores y otros estudios relacionados.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) oficina regional – Paola Ramírez y Felipe Carrasco.
- En esta reunión se abordó principalmente la evaluación de fallas en la región y estudios sobre inundaciones.
- Dirección de Emergencias y Riesgo de Desastres Municipalidad Valdivia – Claudio Lara.
- En esta reunión se abordó en general todas las amenazas, con énfasis en la identificación de zonas críticas afectadas por procesos de inundaciones y remociones en masa.

Las actas de estas reuniones se adjuntan en el apéndice 7.3.

2.4. Ajustes de amenazas identificadas

2.4.1. Sismicidad

La comuna cuenta con un historial sísmico importante, donde destacan los terremotos de los años 1575 y 1960. Por lo tanto, se considera necesario analizar esta amenaza en detalle.

Con respecto a la sismicidad asociada a fallas activas, se identifican tres estructuras principales en zonas ubicadas la comuna (Maldonado, et al., 2021):

- Falla Curiñanco: se han reconocido tres secciones que acumulan una traza total de aproximadamente 15 km, con una orientación aproximada noroeste-sureste. A la actividad de esta falla se le ha asignado un nivel de certeza posible.
- Falla sin nombre 1: de características similares a la anterior y con una traza de aproximadamente 13 km en dos secciones, se le ha asignado un nivel de certeza posible.
- Falla sin nombre 2: esta falla perpendicular a las dos anteriores tiene una traza total de 6 km, con un nivel de certeza posible.

Dado que las tres fallas tienen el mínimo nivel de certeza y su estudio en detalle escapa a los alcances de lo que es posible analizar en el marco de este estudio, se ha descartado el análisis de esta amenaza. Sin embargo, se recomienda considerar estudios específicos que ayuden a aumentar el conocimiento respecto de las estructuras, y, de ser necesario, establecer normas urbanísticas adecuadas.

2.4.2. Volcanismo

De acuerdo con el ranking de riesgo específico de volcanes activos de Chile de SERNAGEOMIN (RNVV-Sernageomin, 2020), en la región de Los Ríos hay seis volcanes considerados activos: volcán

Villarrica, complejo volcánico Quetrupillán, campo volcánico Fui, complejo volcánico Mocho-Choshuenco, campo volcánico Carrán-Los Venados y complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle.

Los siguiente son los mapas de peligro disponibles:

- Toloza, et al. (2020), Peligros del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, escala 1:75.000.
- Moreno (2017), Peligros del volcán Quetrupillán, escala 1:50.000.
- Bertín, et al. (2018), Peligros del Campo Volcánico Carrán-Los Venados, escala 1:50.000.
- Moreno (2000), Mapa de peligros del volcán Villarrica, escala 1:75.000.
- Moreno y Naranjo (2006), Peligros del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, escala 1:50.000.

Dado que estos volcanes se encuentran a más de 90 kilómetros de distancia al este, los mapas de peligro disponibles no indican afectación en el área de estudio, por lo tanto, la posibilidad de que esta se vea afectada por procesos volcánicos es baja. Debido a esto, la amenaza volcánica no se zonifica en el área de estudio.

2.4.3. Inundaciones litorales

El terremoto de 1960 generó un tsunami de gran magnitud que tuvo importantes efectos en la costa de la región. Pese a que existen antecedentes que dicen que se percibió hacia el interior del río Valdivia, la información es imprecisa, tanto en lo que se refiere al alcance como a intensidad.

En este estudio se analiza preliminarmente esta amenaza.

2.4.4. Inundaciones terrestres

En lo que se refiere a inundación por desborde de cauces, la ciudad es atravesada por varios ríos, algunos de ellos con cuencas aportantes de gran magnitud. Estos ríos cuentan con abundantes registros de inundaciones que han afectado a sectores de la ciudad. Por lo tanto, esta amenaza se analiza en detalle más adelante.

2.4.5. Remociones en masa

En la ciudad existen abundantes registros de remociones en masa. Estas, por lo general, son de pequeña magnitud, pero en el último tiempo se han vuelto más frecuentes, debido al aumento de construcciones en zonas de alta pendiente, que exigen realizar cortes del cerro para poder construir. De esta forma, es posible que esta amenaza sea la que presenta un mayor potencial para incrementarse en la comuna. Esto la convierte en la que requiere analizarse con mayor detalle.

2.4.6. Emanación de gases

Otra amenaza presente en la comuna, pero que no se encuentra expuesta en las amenazas de origen natural en el artículo 2.1.17 de OGUC (capítulo 1.1 Marco Jurídico) es la emanación de gases en Isla Teja.

Según lo que estipula la asistencia técnica de Sernageomin de 2018 (Carrasco & Miralles, 2018), referente a emanación de gases en las calles Pintor Roberto Echeñique y Pintora Susana Barahona en Isla Teja, a partir de antecedentes geológicos se ha identificado la existencia de niveles con materia orgánica en los depósitos fluvioestuarinos que componen los suelos del lugar y que las viviendas se encuentran en relleno artificial sobre una zona de vega o humedal antiguos. Además, se han reportado emanaciones de gas natural en lugares aledaños, específicamente en la Universidad Austral de Chile y en el edificio de Telefónica del Sur durante su construcción (comunicación oral con vecinos y autoridades).

En el sector existen grietas que estarían asociadas a procesos de remoción en masa de tipo reptación leve, deslizamiento rotacional incipiente o expansión lateral. Esta permitiría la liberación de gases desde estratos que contienen materia orgánica o desde estratos o cavidades en los que se encuentre retenido el gas licuado de petróleo. Adicionalmente, la asistente técnica menciona que existe la posibilidad de que, en el nivel superficial de suelo, al ser poroso, pudiera almacenarse gas licuado de petróleo confinándolo entre una capa basal arcillosa y las losas de hormigón y construcciones de la superficie. Además, no se descarta presencia de metano u otros gases producidos por descomposición de materia orgánica dados los antecedentes geológicos del sector.

El Informe de incidente N°153 de ONEMI (actual SENAPRED) menciona que en estudios posteriores se ha determinado que bajo el pavimento de la calle existen socavones de dimensiones indeterminadas donde se encuentra acumulado una gran concentración de gas.

Este problema se ha identificado en más de una ocasión, siendo la última registrada hasta la fecha en 2021¹ en sector de calle Los Robles con Pintor Ricardo Anwandter.

Esta amenaza no se puede zonificar bajo el marco normativo actual y debido a la poca información levantada hasta ahora en la comuna, por lo que se recomienda continuar monitoreando la emanación de gases y realizar estudios de mayor profundidad para determinar con mayor precisión su origen y distribución.

3. Diagnóstico

3.1. Líneas de base

3.1.1. Contexto Geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (ver Ilustración 3-1) donde la placa oceánica de Nazca subducta bajo el margen occidental de la placa continental Sudamericana. De acuerdo con los resultados de diversas investigaciones científicas, este proceso de subducción se encuentra activo desde hace unos 200 a 300 millones de años, y en sus fases finales, ha dado origen a lo que hoy se conoce como la cordillera de Los Andes (Mpodozis & Ramos,

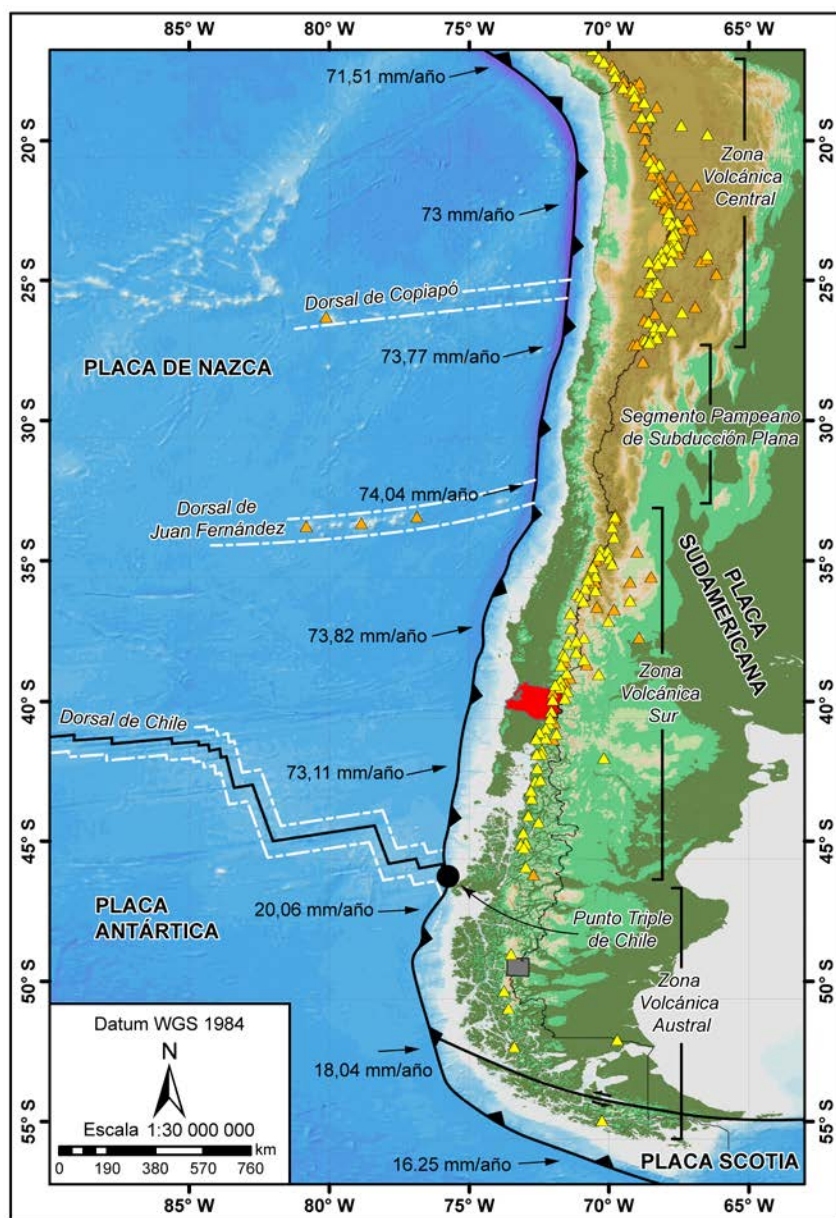
¹ Sitio web: <https://www.diariodevaldivia.cl/noticia/actualidad/2021/05/evacuados-tras-explosion-por-gas-en-isla-teja-aun-no-pueden-regresar-a-su-hogares>

1989; Coloma, et al., 2017; Oliveros, et al., 2020).

A partir del Eoceno (hace unos 56 millones de años), la tasa de convergencia ha variado entre 5 y 15 cm/año (Somoza, 1998), siendo actualmente de 7,5 cm/año aproximadamente (DeMets, et al., 2010). Por su parte, al sur de los 47°S, convergen las placas Antártica y Sudamericana con una velocidad aproximada de 2 cm/año.

La actividad tectónica a lo largo de Chile se caracteriza por presentar terremotos de gran magnitud y estructuras tectónicas de gran escala, fenómenos directamente relacionados con la dinámica de subducción. La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos (producto de su condición de margen convergente activo) es la causa de que todo Chile, hasta la península de Taitao (punto triple de Chile), sea afectado frecuentemente por terremotos.

Ilustración 3-1 Marco Geodinámico General. En rojo se destaca la región de Los Ríos donde se encuentra la comuna de Valdivia. La línea negra con triángulos muestra la fosa Perú-Chile. Los triángulos naranjas corresponden a volcanes pleistocenos, y los triángulos amarillos a volcanes holocenos.



Fuente: Elaboración propia

Según sus características geodinámicas, y en base al esquema de segmentación andina de Mpodozis y Ramos (1989), el margen convergente chileno puede zonificarse en cuatro segmentos o zonas de subducción principales:

- Zona Volcánica Central: La zona ubicada entre los 18° y 27°S se identifica como una zona de subducción normal con un ángulo de subducción de aproximadamente 30°. El margen oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado norte-sur a lo largo de toda la región; desde los 18,5°S a los ~22°S la zona se denomina “codo de Arica”, por su forma curva.
- Segmento Pampeano de subducción plana: El segmento de subducción ubicado entre los 27°S y los 33°S se caracteriza por una subducción de bajo ángulo (~10°) entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. La costa oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado norte-sur. En este segmento la ausencia de Depresión Central configura un paisaje montañoso continuo al que se le denomina Valles Transversales. En esta zona no existe registro de volcanismo Pleistoceno-Holoceno.
- Zona Volcánica Sur: El segmento ubicado entre los 33°S y los 46°S corresponde a una zona de subducción tipo chilena que se caracteriza por un ángulo de subducción de aproximadamente 30°, con un rumbo aproximado de la costa oeste de la placa Sudamericana de N20°E. La configuración morfoestructural del antearco se compone de oeste a este por la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal. En esta zona el arco volcánico Holoceno se encuentra plenamente desarrollado y activo.
- Zona Volcánica Austral: Cerca de los 47°S, se encuentra la dorsal de Chile, límite entre las placas de Nazca y Antártica, siendo esta última la que se subducta bajo el margen sudamericano en la zona austral de Chile. Producto de la subducción de la dorsal, existe una zona sin actividad volcánica, la cual reaparece en torno a los 49°S.

La región de Los Ríos se emplaza en la Zona Volcánica del Sur (ZVS), la cual presenta evidencias geológicas, tanto geoquímicas como estructurales, de una compleja interacción entre los procesos tectónicos y magmáticos, especialmente con el Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui (Segovia, et al., 2021).

3.1.2. Geología

Para el levantamiento de la geología de la comuna de Valdivia, se consideraron los antecedentes más relevantes recopilados por el equipo consultor, los cuales corresponden a las siguientes cartas geológicas elaboradas por SERNAGEOMIN:

- Mella, M.; Duhart, P.; McDonough, M.; Antinao, J.L.; Elgueta, S.; Crignola, P. (2012) Geología del área Valdivia-Corral, región de Los Ríos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie geología Básica 137: 49 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Barozzi, G.R. y Lemke, R.W. (1966) El suelo de fundación de Valdivia. Santiago. IIG. Estudios Geotécnicos nº 001.

Cabe mencionar que el levantamiento geológico se realizó a escala 1:5.000 dentro de los límites del área de restitución.

a) Unidades litológicas

A continuación, se describen las unidades litológicas identificadas en la comuna de Valdivia, a partir de los antecedentes indicados anteriormente.

i Depósitos sedimentarios

Depósitos aluviales *Ha* (Holoceno)

Depósitos no consolidados formados por bloques, arenas y limos. De dimensiones variables, se distribuyen en quebradas y esteros.

Depósitos fluviales *Hf* (Holoceno)

Depósitos no consolidados fluviales compuestos por gravas medias y finas bien seleccionadas, bien redondeadas, generalmente imbricadas, inmersas en una matriz de arenas gruesas y medias; así como por arenas medias a gruesas con estructuras de estratificación planar horizontal, entrecruzada y granodecreciente, y por limos laminados interestratificados con arenas. Los depósitos muestran rasgos morfológicos de evidente acción de cauces (activos y abandonados), comúnmente con estructuras de canales y barras, y zonas de inundación. Estos depósitos se reconocen en el río Calle Calle.

Depósitos litorales *HI* (Holoceno)

Arenas y gravas, bien seleccionadas, subredondeadas a redondeadas, generalmente con estratificación interna horizontal-plana y generación de ondulitas. Su composición incluye diferentes porcentajes de fragmentos de cuarzo, rocas volcánicas, metamórficas e intrusivas. Esta unidad se presenta en las playas de Curiñanco y Calfuco.

Depósitos de remoción en masa *Hrm* (Holoceno)

Depósitos pobremente consolidados, macizos, matriz soportados, mal seleccionados, compuestos por clastos angulosos a subangulosos, en una matriz de arena fina y limo que conforman abanicos coluviales adosados a los escarpes costeros. Se observan al norte de Niebla.

Depósitos fluviales antiguos *PIHf* (Pleistoceno-Holoceno)

Gravas y arenas, clastosoportadas, moderadamente a bien seleccionadas, con buen redondeamiento, con rasgos de meteorización, en general imbricadas, con estratificación cruzada plana y en artesa granodecreciente asociados al desarrollo de paleocanales. Localmente, se interdigitan con lentes de limos y arenas finas laminadas. Se asocian a planicies de inundación y barras. Esta unidad configura terrazas de no más de 5 m sobre el nivel de los ríos y se expone a lo largo de esteros y de los ríos Angachilla, Calle Calle, Cruces y Valdivia.

Depósitos eólicos *Pleo* (Pleistoceno medio – Pleistoceno Superior)

Arenas medias, bien seleccionadas, litofeldespáticas, con importante componente volcánico y cuarzo, texturalmente maduras con abundantes clastos de trozos de bivalvos. En las escasas secciones disponibles, por ejemplo, en el fuerte de Niebla, se reportó estratificación cruzada planar con capas inclinadas hacia el sureste con manteos en torno de 30°.

Depósitos fluvioestuarinos *Plfe* (Pleistoceno)

Arenas finas, arenas limosas, limos y arcillas. Las facies más gruesas presentan estratificación planar grano decreciente, en ocasiones de alto ángulo, y ondulitas; las facies finas presentan laminación y ondulitas con ocurrencia de materia orgánica. Ambas facies presentan asociación de fósiles de bivalvos y gastrópodos de ambiente litoral y estuarino. Se encuentran ampliamente distribuidos.

Depósitos fluviales y deltaicos *Plfd* (Pleistoceno)

Gravas y arenas, clastosoportadas moderadamente a bien seleccionadas, con buen redondeamiento, en general imbricadas, con estratificación cruzada plana y en artesa granodecreciente, inmersas en una matriz en parte cementada a óxidos de hierro, con aporte, en especial, de componentes volcanoclásticos compuestos por líticos, pómez y escorias, y, en menor medida, por clastos de granitoides y rocas metamórficas. Localmente, se interdigitan con limos y arenas finas. Estas facies se interpretan como ríos trenzados de alta energía, con posible aporte lahárico, y ríos meandriformes provenientes desde la cordillera principal y, en menor proporción, desde la cordillera de la Costa. Se encuentra un depósito bordeando el río Valdivia.

Depósitos fluviales y glaciofluviales *Plfg* (Pleistoceno Inferior – Pleistoceno Medio)

Gravas y arenas gruesas interestratificadas, arena litofeldespáticas con clastos, principalmente de cuarzo, así como, en menor proporción, de areniscas y limolitas de la Formación Santo Domingo. En el sector de Numancia se exponen a lo menos 100 m de gravas bien redondeadas, a regularmente clasificadas, macizas, en matriz arenosa, de arenas medias a gruesas interestratificadas con limos y areniscas litofeldespáticas, los clastos se componen, en especial, de cuarzo metamórfico y esquistos, subordinado se observan areniscas y limolitas. Presenta una oxidación bastante fuerte de la matriz, lo que le otorga un característico color rojo y una cementación parcial.

ii Rocas estratificadas

Miembro medio Formación Santo Domingo *Msd2* (Mioceno Inferior – Mioceno Medio)

Areniscas finas a muy finas, limolitas y arcillolitas cristalino-líticas micáceas, con horizontes fosilíferos, de color gris oscuro a negro (frescas) o gris verdoso a pardo claro (meteorizadas). Los clastos están compuestos por fragmentos líticos y cristales de cuarzo de origen metamórfico. Presentan una estratificación fina decimétrica horizontal plana. Localmente, se observa laminación cruzada y ondulitas, interpretadas como ambientes de baja energía. Muestran niveles bioturbados, con tubos horizontales y verticales de algunos milímetros hasta un centímetro de diámetro.

iii Rocas intrusivas

Dacita Laurel *Kdl* (ca. 81 Ma)

‘Stock’ porfídico de composición dacítica caracterizado por fenocristales de plagioclasa zonados, sericitizados, algunos con texturas ‘sieve’ y ‘dusty’, anfíbola y biotita parcialmente reemplazados a clorita. La masa fundamental es fina, felsítica con abundante albita, clorita, y, en menor proporción, epidota y pirita. Esta unidad presenta una alteración propilítica penetrativa caracterizada por albita, pirita, epidota y clorita.

iv Rocas metamórficas

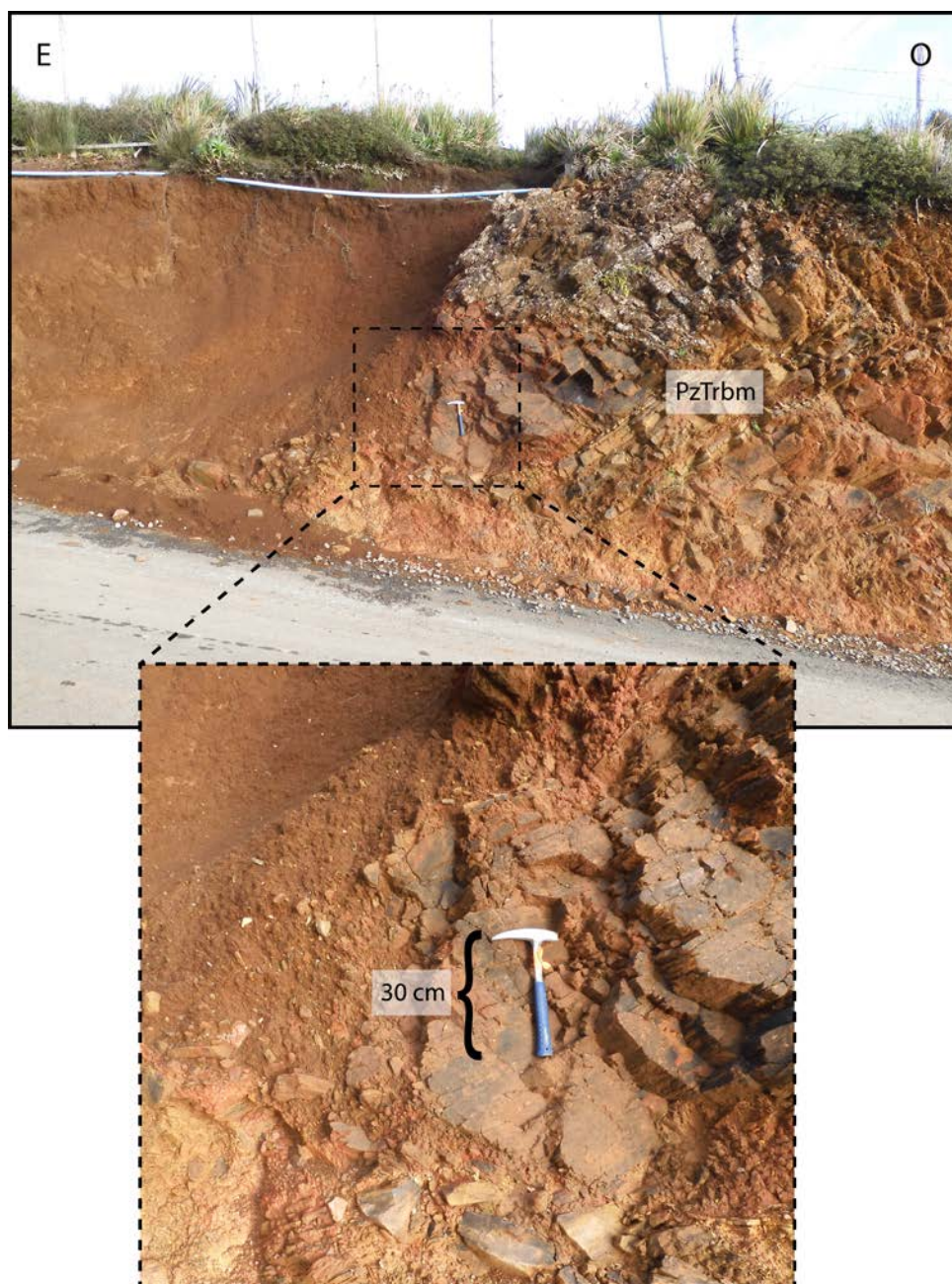
Complejo Metamórfico Bahía Mansa *PzTrbm* (Probablemente Devónico – Triásico)

Conjunto de rocas metamórficas con foliación penetrativa, con fábricas y texturas primarias obliteradas, tectónicamente emplazadas que presentan una historia metamórfica polifásica. Es la unidad litológica mayormente distribuida en Valdivia. Se distinguen:

- (a) Esquistos pelíticos y semipelíticos de cuarzo-muscovita-albita-clorita.
- (b) Esquistos máficos y filitas máficas de clorita-anfíbola-albita-epidota-cuarzo.

Durante la campaña de terreno, el Complejo Metamórfico Bahía Mansa se reconoció en sectores expuestos de la ruta entre Niebla y Curiñanco. Los afloramientos evidencian una profunda meteorización y formación de suelo de esta unidad, como se muestra en la Ilustración 3-2.

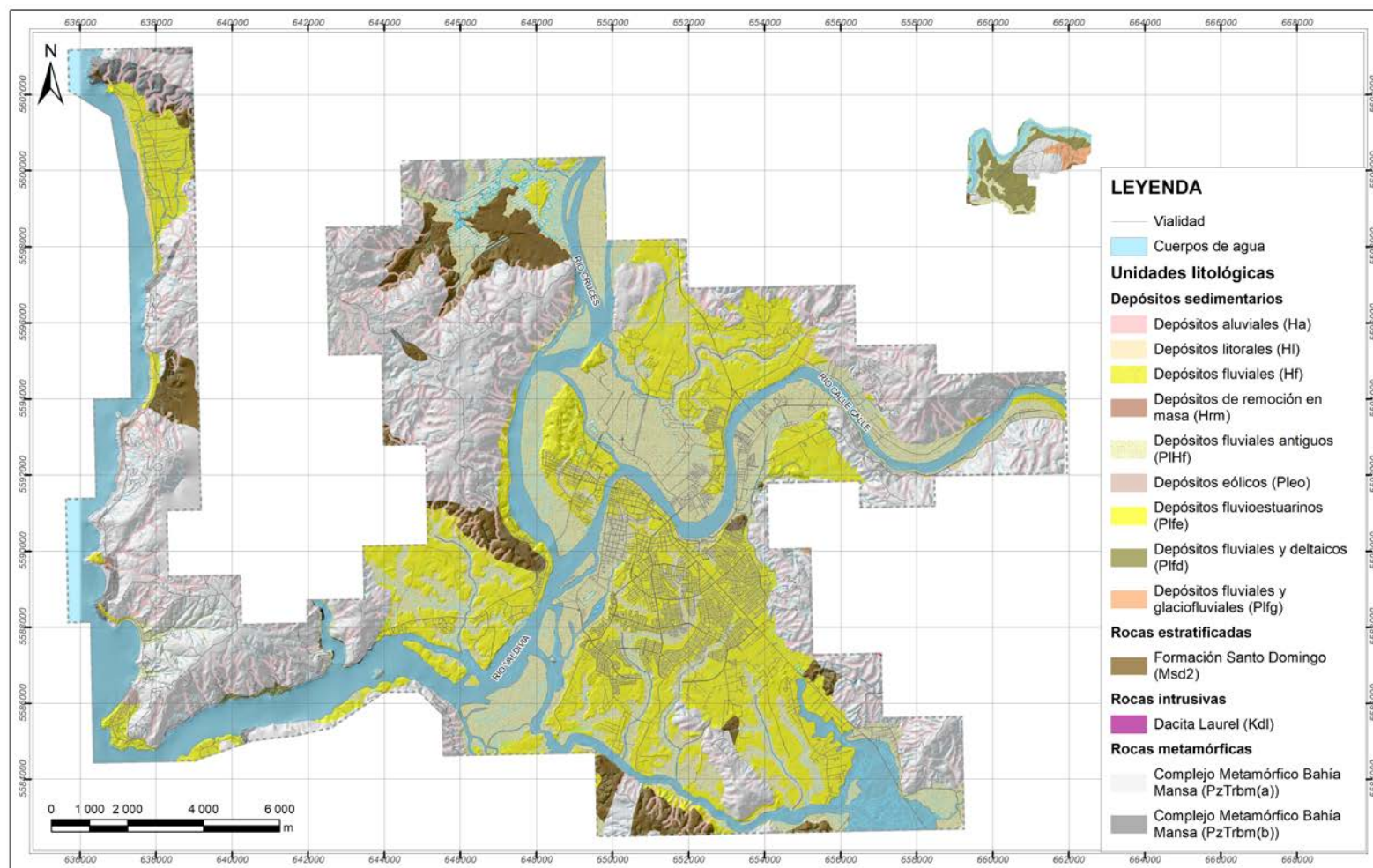
Ilustración 3-2 Complejo Metamórfico Bahía Mansa (PzTrbm) en ladera E-O ruta Niebla-Curiñanco, en localidad San Ignacio.



Fuente: Registro de terreno.

En la Ilustración 3-3 se presenta el mapa litológico levantado a escala 1:5.000.

Ilustración 3-3 Mapa litológico.



Fuente: Elaboración propia.

b) Geología estructural

La geología estructural de las unidades geológicas presentes en el área de Valdivia se caracteriza por contener deformación de tipo dúctil y frágil. En su conjunto, refleja la sucesión de eventos de deformación tectónica que afectaron a escala regional las rocas que afloran en la Cordillera de la Costa entre los 39° y 42°S (Duhart, et al., 2001; Mella, et al., 2012; Palape, 2020). La primera guarda relación con la deformación y metamorfismo que dio origen al Complejo Metamórfico Bahía Mansa (CMBM) de edad paleozoica. Por su parte, el segundo tipo de deformación se vincula con el fracturamiento y fallamiento frágil del basamento (CMBM) y su cobertura meso-cenozoica (Duhart, et al., 2001; Mella, et al., 2012).

i Deformación dúctil

Durante los eventos de deformación y metamorfismo se generaron estructuras al estado dúctil (así como también, frágil-dúctil), que obliteraron totalmente las características de las rocas originales que dieron origen al CMBM. Los elementos estructurales principales corresponden a foliaciones, clivajes de crenulación, lineaciones de estiramiento y foliaciones miloníticas (Duhart, et al., 2001). La foliación principal penetrativa corresponde a S_2 , que sigue una orientación preferencial NO y SE, con manteos entre 10°-50° al SO y NE. En los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa, al oeste de la ciudad de Valdivia, se reconocen pliegues sinformes y antiformes de orientación NNE-SSE (Mella, et al., 2012).

ii Deformación frágil

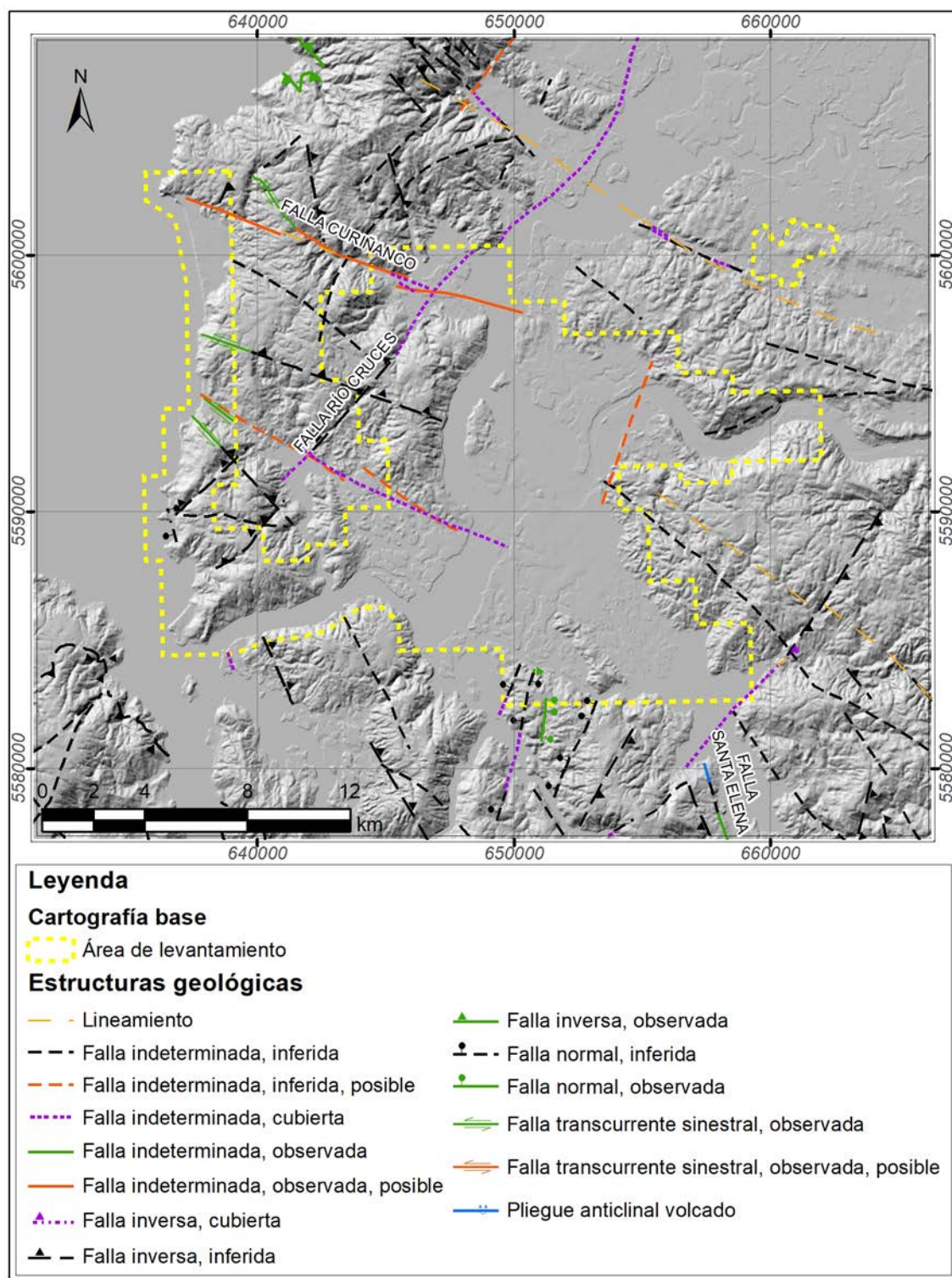
La deformación frágil en el área se expresa a través de numerosas fallas de escala local y regional. Destaca la Falla Río Cruces (FRC) que marca el límite occidental de la cuenca sedimentaria Río Cruces de edad cenozoica (Mella, et al., 2012; Elgueta & Mpodozis, 2012). La FRC tiene un rumbo NE-SO, se interpreta como una falla inversa de alto ángulo (60°-80°) al NO y cuya prolongación al norte coincide con la expresión geomorfológica actual de la Depresión Tectónica de San José de la Mariquina (Mella, et al., 2012; Páez, et al., 2014). A lo ancho del cordón montañoso que se extiende al norte de Niebla se reconocen diversas fallas y lineamientos de orientación este-oeste, que se interpretan como deformación frágil asociada a la activación de la FRC (Mella, et al., 2012). Otras fallas de tipo normal (extensionales) y orientación NNE y NO se reconocen en la ribera sur del río Angachilla y al norte del río Calle Calle, respectivamente, controlando los afloramientos de las rocas cenozoicas (Mella, et al., 2012). Una falla inversa de orientación NO-SE, denominada Falla Santa Elena, así como un pliegue anticlinal volcado de plano axial rumbo N20°O y manteo 55°SE, se reconocen en el sector homónimo, al sureste de Valdivia. Ambas estructuras indican una vergencia NE para un esfuerzo principal que provino del SO, que falló y plegó areniscas fosilíferas de la Fm. Santo Domingo en el sector. Las relaciones de corte de las fallas con las unidades geológicas permiten establecer que la actividad de la FRC estuvo restringida entre el Mioceno medio y el Pleistoceno. A una escala regional y cortando los diversos cordones montañosos que rodean el área de estudio, se reconocen lineamientos estructurales de orientación NO-SE que controlan la red de drenaje (*e.g.*, ríos Cayumapu, Angachilla, Futa) y que coinciden con la orientación de grandes lineamientos estructurales continentales definidos en Chile y Argentina (*e.g.*, Falla Futrono, Zona de Falla Lanalhue) (Mella, et al., 2012).

Recientemente, mediante el análisis de topografías LiDAR, se reconocieron nuevas fallas o se refinaron los trazados de otras ya reconocidas en las cercanías de la ciudad de Valdivia,

estableciendo que se trata de fallas posiblemente activas (e.g., Falla Curiñanco) (Maldonado, 2020). Estas fallas, así como otras reconocidas en la Cordillera de la Costa a estas latitudes, se agrupan bajo el nombre de “Sistema de Fallas del Antearco Costero Centro-Sur”, de las cuales se cuenta con dos fallas de actividad probable en las cercanías de Puerto Saavedra y cero fallas de actividad probada (Maldonado, et al., 2021).

En la Ilustración 3-4 se muestran las estructuras geológicas principales de la zona.

Ilustración 3-4 Mapa de estructuras geológicas.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Geomorfología

Alrededor de los 40°S es posible identificar tres unidades morfoestructurales principales que se distribuyen en franjas semiparalelas de orientación aproximada N-S a NNE-SSO, donde de este a oeste se encuentra la Cordillera de Andes, la Depresión Central y la Cordillera de la Costa. En la porción occidental de esta última es donde se emplaza la comuna de Valdivia, abarcando sectores costeros. Aquí es posible reconocer terrazas soleantadas que bordean los ríos que, al llegar a la desembocadura, se encuentran con una costa rocosa tanto hacia el sur como al norte (Paskoff, 2010). De esta manera, Valdivia se encontraría en una cuenca basal de la Cordillera de la Costa cuyo origen es tectónico y que ha sido retrabajada por la erosión marina fluvial (Alvarado & Valdebenito, 2015).

En cuanto a la topografía, las serranías y mesetas de la Cordillera de la Costa al norte de la ciudad de Valdivia no superan los 700 m s.n.m., mientras que al sur se genera un relieve relativamente homogéneo que oscila alrededor de los 900 m s.n.m. (SERNAGEOMIN, 1998). Sin embargo, la ciudad como tal se encuentra en una llanura, generada por los ríos Calle Calle, Cruces y Valdivia, a no más de 15 m s.n.m. Las mayores elevaciones de la zona de estudio se encuentran en mesetas cercanas a los 450 m s.n.m. como en el sector de Los Pellines Alto, al este de Curiñanco (Ilustración 3-5).

Consecuentemente, las pendientes bajas (< 15°) dominan el territorio donde se emplaza la ciudad de Valdivia que, al ir acercándose hacia el relieve montañoso comienzan a aumentar por sobre los 20° llegando a pendientes superiores a 35° en las quebradas que se insertan en los cerros entre Niebla, Valdivia y Curiñanco; en sectores al noreste de la ciudad de Valdivia; o hacia la costa rocosa entre Niebla y Curiñanco (Ilustración 3-6).

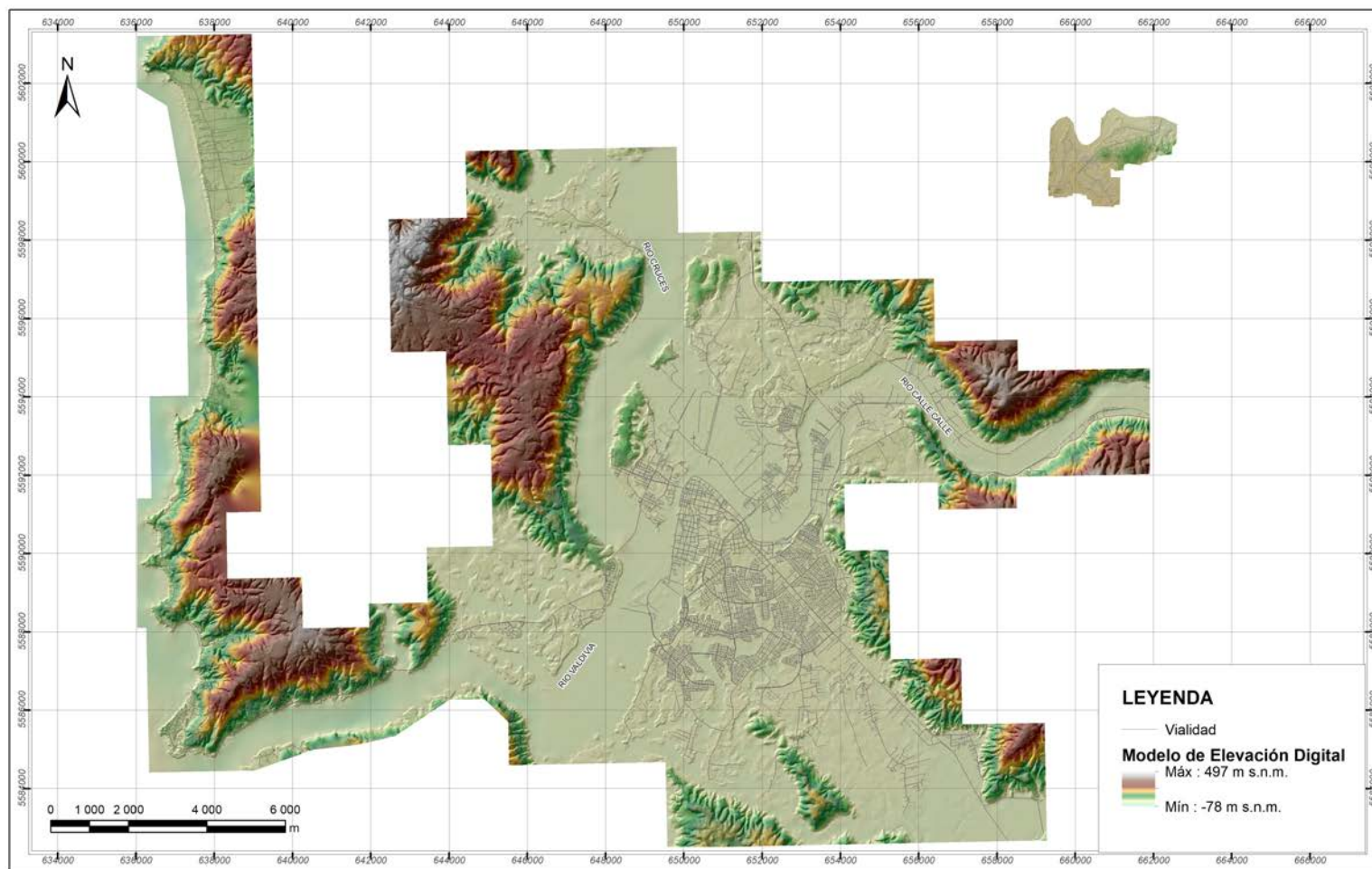
Además, la ciudad de Valdivia al encontrarse custodiada por tres ríos y estar cercana al nivel del mar, posee un territorio que alberga una superficie importante de humedales urbanos, los cuales se definen como *“todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”* según la Ley 21.202 (Decreto 15 del Ministerio del Medio Ambiente, 30 de julio de 2020).

En esta línea, existen los siguientes humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA):

- Sistema de Humedales Urbanos Sector Isla Teja (Resolución Exenta N°1158/2021, 13 de octubre del 2021).
- Humedales Urbanos Bosque – Miraflores – Las Mulatas – Guacamayo (Resolución Exenta 1159/2021, 13 de octubre del 2021).
- Humedal Urbano Krahmer (Resolución Exenta N°1235/2021, 29 de octubre del 2021).
- Humedal Urbano Catrico (Resolución Exenta N°1236/2021, 29 de octubre del 2021).
- Humedal Urbano Angachilla, Estero Catrico (Resolución Exenta N°1337/2021, 30 de noviembre del 2021).

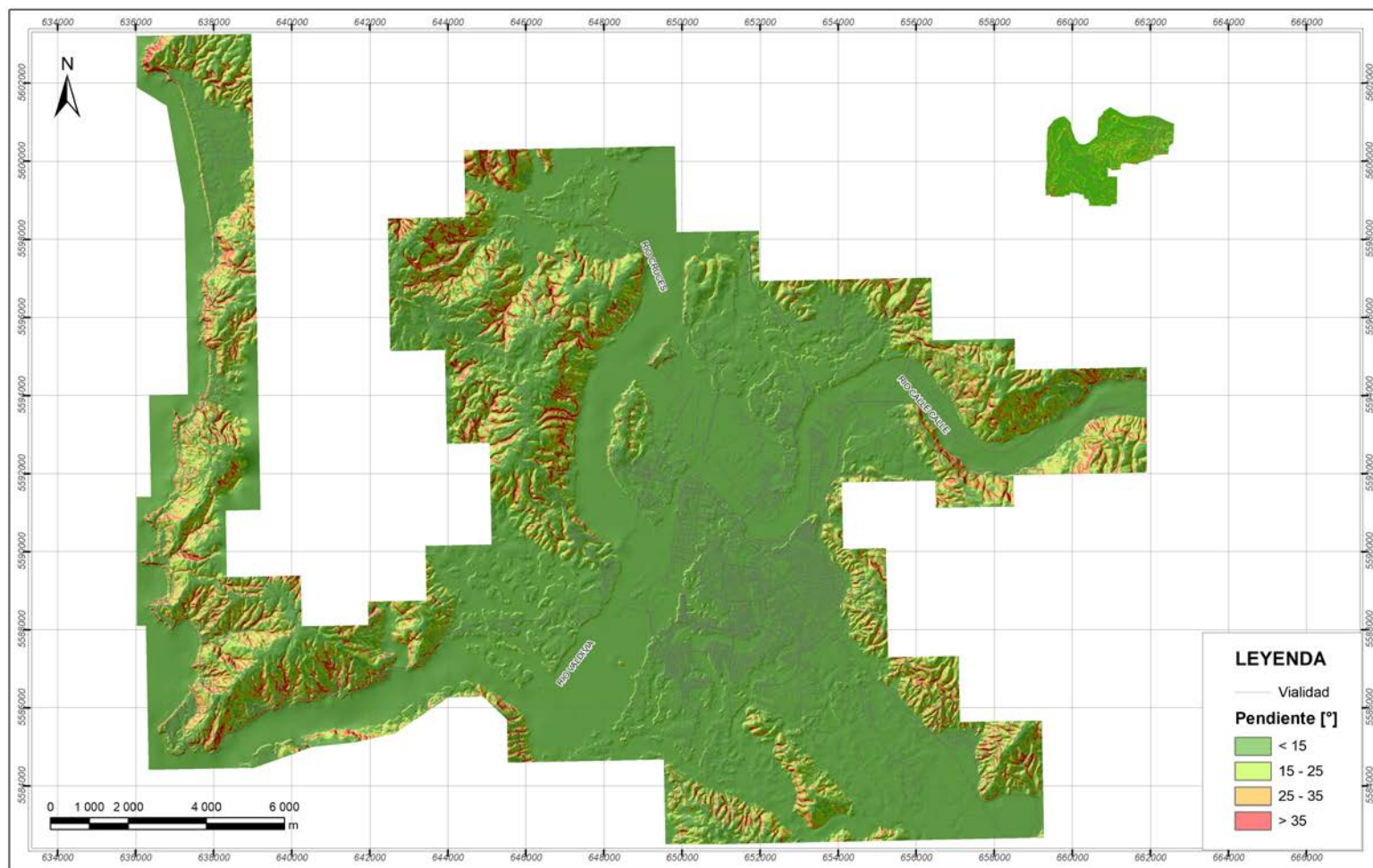
El Gobierno Regional de Los Ríos, junto a la SEREMI de Medio Ambiente y EDÁFICA, bajo el estudio “Consultoría Diagnóstico Integral de Los Humedales” realizaron el reconocimiento y diagnóstico de humedales de la región de Los Ríos, de manera que para la comuna de Valdivia se reconoció una superficie de 11.322 Ha correspondiente a la categoría de humedales de los cuales una superficie de 925 Ha corresponde a los humedales urbanos declarados por el MMA. Los humedales se presentan en la Ilustración 3-8.

Ilustración 3-5 Mapa de altitudes.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-6 Mapa de pendientes.



Fuente: Elaboración propia

Analizando en mayor detalle la zona de estudio, a partir de modelos de elevación digital, imágenes satelitales, parámetros morfométricos y bibliografía disponible, es posible reconocer distintas unidades geomorfológicas que componen el paisaje.

- **Relieve montañoso:** corresponden a los cuerpos rocosos y de montaña que conforman a la Cordillera de la Costa cuya orientación preferencial es N-S. Está delimitada por las planicies litorales y el océano pacífico hacia el oeste y por llanos y ríos en la zona oriental y septentrional de la zona de estudio. Sus pendientes oscilan entre los 0° y 30° debido al desarrollo de mesetas y laderas respectivamente. Esta unidad geomorfológica es la que posee las mayores elevaciones dentro del área de estudio, cubriendo localmente desde el nivel del mar hasta por sobre los 450 m s.n.m. Además, se compone por rocas metamórficas del Complejo Metamórfico Bahía Mansa, por rocas intrusivas como el Granito Oncol y rocas sedimentarias como la Fm. Santo Domingo.
- **Quebradas:** corresponden al fondo de cauces que se encuentran insertos en el relieve montañoso, específicamente hacia sus laderas, configurando un paisaje irregular donde el patrón generado es principalmente dendrítico.
- **Planicie litoral:** se ubican en el sector occidental de la zona de estudio, a lo largo del borde costera de la comuna de Valdivia, de manera discontinua. Son geoformas estrechas con ancho < 1 km y por lo general, poco desarrolladas. Sus pendientes son bajas, inferiores a los 5°, y altitudes cercanas al nivel del mar. Se componen por depósitos no consolidados cuyo origen se asocia a la erosión de la Cordillera de la Costa debido a las condiciones geográficas locales.
- **Terraza aluvial:** corresponde a niveles aterrazados cercano a los pies de ladera del relieve montañoso, generando una zona de baja pendiente. Se encuentran principalmente hacia el sector de Niebla donde se concentran quebradas que aportan material fluvioaluvial hacia zonas bajas, acumulando este sedimento de manera subhorizontal.
- **Llano de sedimentación fluvioestuarina:** se encuentran en la depresión formada por la dinámica de los ríos Calle Calle, Cruces y Valdivia y se presenta de manera disgregada debido a que es interrumpida por los ríos y terrazas fluviales. Se compone por depósitos fluvioestuarianos asociados al último período interglacial, depósitos fluviales y depósitos deltaico no consolidados. Posee pendientes menores a los 10° y sus altitudes varían desde el nivel del mar hasta los 80 m s.n.m., concentrándose principalmente a altitudes cercanas a los 15 m s.n.m.
- **Terraza fluvial:** al igual que los llanos de sedimentación fluvioestuarina, se encuentran en la depresión de la Cordillera de la Costa formada por los ríos Calle Calle, Cruces y Valdivia; y comprende gran parte de la zona norte de la ciudad de Valdivia. Se compone por los depósitos de fondo de cauce como también aquellos que se depositan por crecidas del río y la migración natural de estos. Posee pendientes bajas, inferiores a los 10°, y sus altitudes son menores a los 15 m s.n.m.
- **Cuerpos de agua:** corresponde al océano Pacífico y a los sectores de lecho de río y esteros por donde se moviliza la escorrentía.

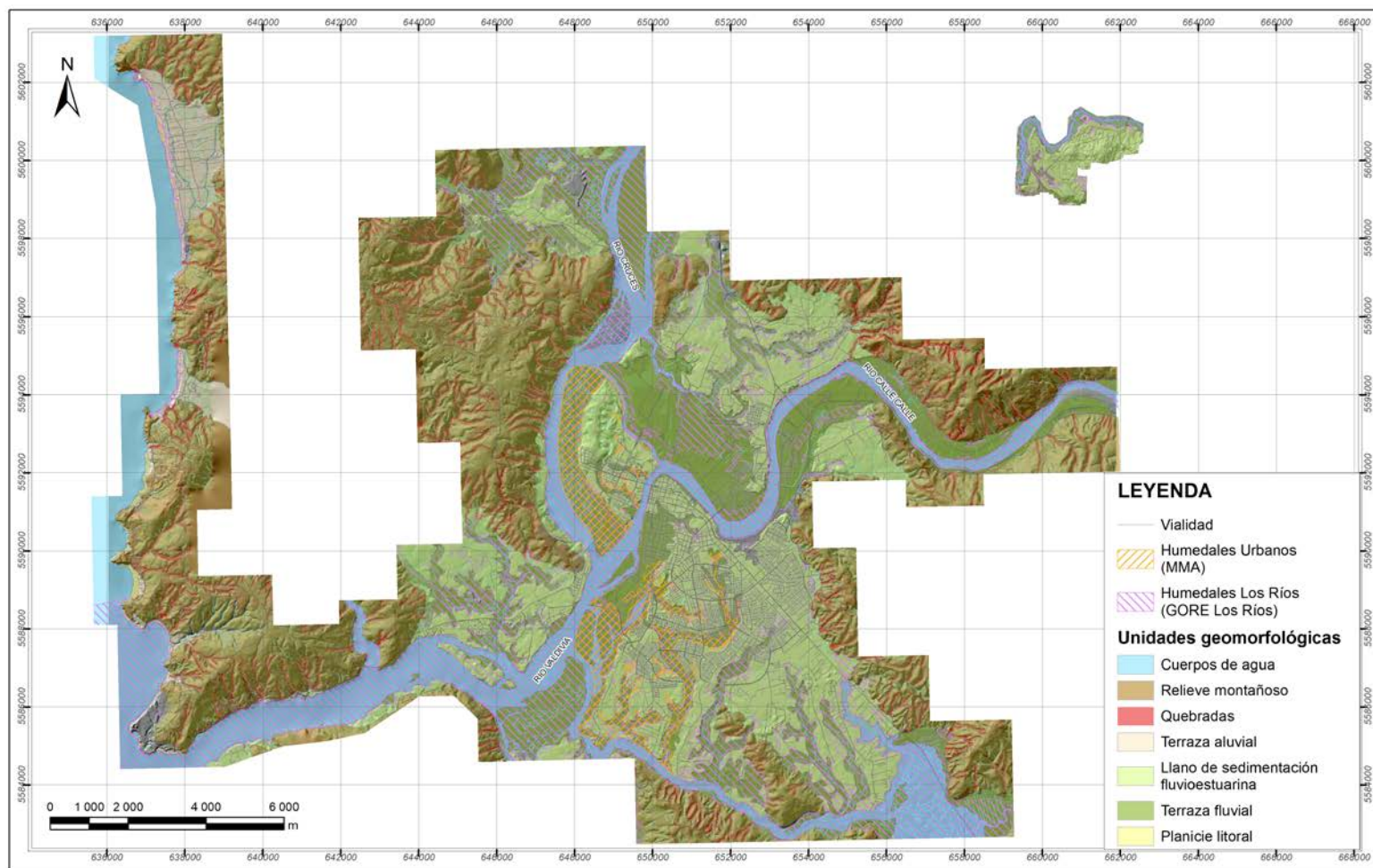
En la Ilustración 3-7 se muestran ejemplos de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio y en la Ilustración 3-8 se presenta el mapa geomorfológico levantado a escala 1:5000.

Ilustración 3-7 Unidades geomorfológicas reconocidas en visita a terreno.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-8 Mapa geomorfológico.

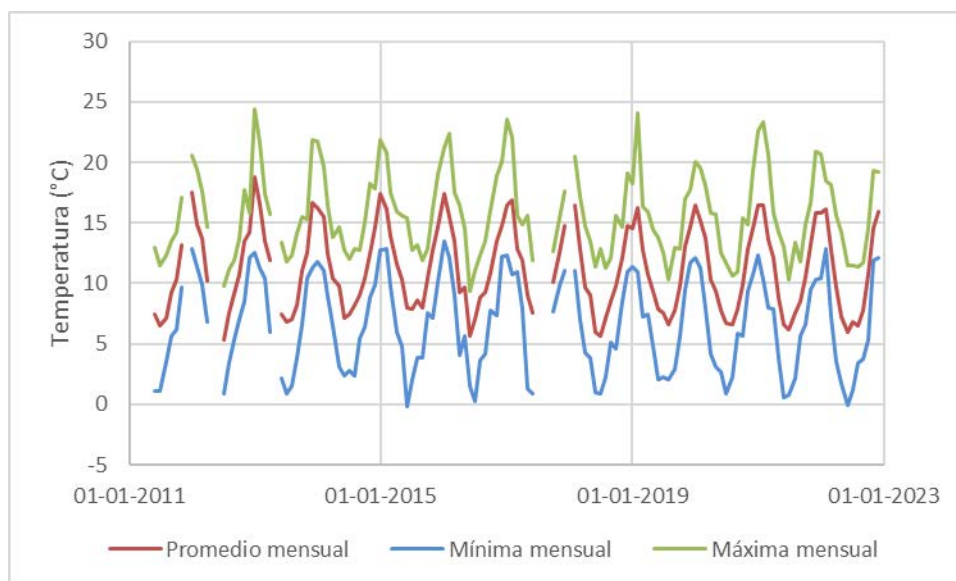


Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Clima

Según la clasificación de Köppen (1948) modificada por Fuenzalida (1967), Valdivia posee un clima templado cálido lluvioso, que se caracteriza por precipitaciones a lo largo de todo el año, con menor pluviosidad en los meses de verano y una temperatura media anual de 12,9°C (Páez, et al., 2014). Los meses entre mayo y agosto son los meses con menores temperaturas y la mayor temperatura media mensual se alcanza en el mes de enero, en el Gráfico 3-1 se muestran las temperaturas medias mensuales entre los años 2011 y 2022 tomadas en la estación meteorológica Pichoy.

Gráfico 3-1 Temperatura media mensual entre los años 2011 – 2022.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados desde la plataforma <https://explorador.cr2.cl/>.

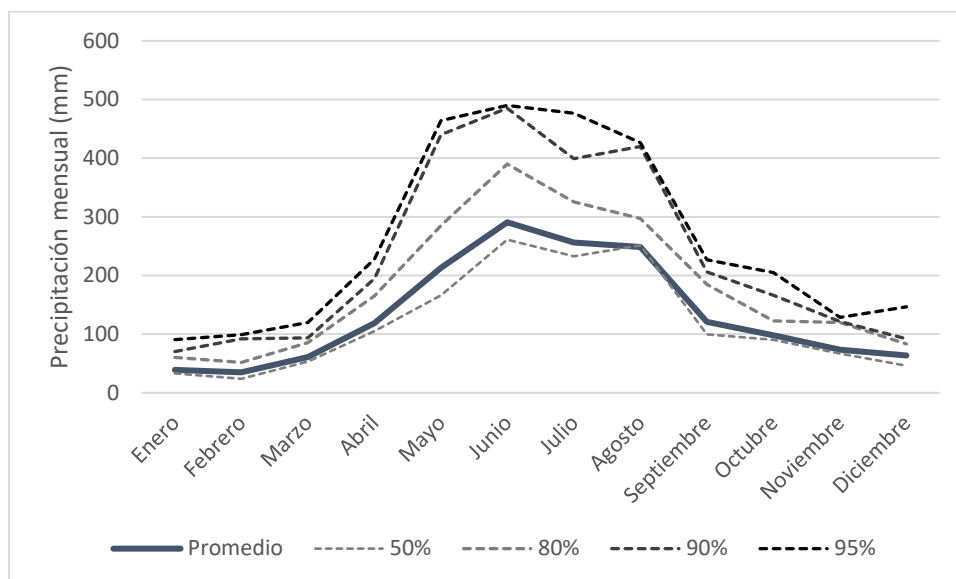
Para caracterizar las precipitaciones de la comuna, se han utilizado las precipitaciones acumuladas mensuales en la estación Pichoy Valdivia, administrada por la Dirección Meteorológica de Chile y ubicada en San José de la Mariquina, esta estación no se encuentra dentro de la comuna de Valdivia, sin embargo, está ubicada a poca distancia en un contexto climático muy similar. Para la elaboración del Gráfico 3-2, se tomó la información de precipitación acumulada mensual. Se consideró la información disponible de los 20 últimos años.

Del Gráfico 3-2 se reconoce que los meses más lluviosos son junio, julio y agosto, con valores medios mensuales entre 200 y 300 mm y máximos cercanos a los 500 mm llegando a más de 400 mm mensual acumulado. Los meses de menores precipitaciones, ocurren durante el verano, con promedios incluso menores que 50 mm. A partir de estos datos, la precipitación media anual se encuentra en torno a los 1600 mm.

Las precipitaciones son de origen ciclónico o frontal, llegan a durar varios días, superando los 100 mm por evento, con una intensidad de hasta 10 mm/h.

Entre los meses de noviembre y marzo, la evaporación es mayor que los aportes de las precipitaciones. Enero es el mes con una mayor tasa de evaporación, alcanzando en promedio 152 mm. Por otro lado, el mes de junio tiene el menor valor con una tasa de 11 mm. El promedio anual es de unos 807 mm.

Gráfico 3-2 Precipitaciones mensuales entre los años 2003 – 2022.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos tomados desde la plataforma <https://explorador.cr2.cl/>.

3.1.5. Hidrografía

La red de drenaje de la comuna de Valdivia se encuentra inmersa en la cuenca del río Valdivia, con una extensión de 10.275 km² (CADE-IDEPE, Consultores en Ingeniería, 2004). Este sistema de cauces se divide en dos subcuencas, la del río Cruces por el norte y la del río Calle Calle en la parte alta de la cuenca. Los ríos principales de estas dos subcuencas se unen a 15 km de la costa dando origen al río Valdivia, siendo este último el que llega al mar.

El río Calle Calle es el más importante de la comuna, atravesando y dividiendo la ciudad de Valdivia en tres. Tiene una orientación principalmente este-oeste, con una extensión de 55 km y se forma a partir de la junta de los ríos San Pedro y Quinchilca, 8 km aguas arriba de la ciudad de Los Lagos. Este río es el resultado de un complejo sistema fluviolacustre regulado en los lagos andinos, lo que genera un caudal abundante y relativamente uniforme durante todo el año.

Otro río importante en la comuna es el río Cruces, que atraviesa la comuna por el límite oeste de la ciudad de Valdivia. Tiene una orientación noreste-suroeste con una extensión total de 125 km naciendo por la unión de varios esteros en la vertiente occidental de los cerros situados entre los lagos Villarrica y Calafquén.

3.2. Inventario o Catastro de amenazas

A partir de los antecedentes revisados durante el desarrollo de este trabajo, se elaboró un catastro de las distintas amenazas de origen natural que se lograron reconocer y que han afectado al área de estudio. Estas amenazas son inundaciones de tipo terrestre y litoral, remociones en masa, y sismos.

A continuación, se detalla cada una de las amenazas mencionadas junto a cuadros resúmenes que compilan los eventos catastrados.

3.2.1. Sismicidad

Se recopilaron los principales terremotos registrados en la zona centro-sur de Chile y que afectaron el área de estudio (Tabla 3-1).

La ocurrencia de eventos sísmicos y sus consecuencias a la latitud de Valdivia está presente en la tradición oral y mitología *mapuche* desde épocas prehispánicas (Bastías, 2019). Sin embargo, el registro escrito y fechado comienza aproximadamente con la llegada de los españoles a la zona. De esta forma, destacan los terremotos que afectaron la zona en los años 1575, 1737, 1837 y 1960. La amenaza sísmica catastrada en la comuna de Valdivia estaría asociada principalmente a **sismicidad de tipo interplaca**, gatillada por el movimiento y la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Por otra parte, dada la presencia de fallas geológicas superficiales cercanas al área, con reporte de actividad cuaternaria y agrupadas como el sistema de fallas SFFS (del inglés: *South-Central Coastal Forearc*; (Maldonado, 2020; Maldonado, et al., 2021), se considera posible la ocurrencia de **sismicidad de tipo cortical**, a pesar de que no se cuente con registro instrumental ni histórico de eventos anteriores.

Tabla 3-1 Catastro de sismos e inundaciones litorales (tsunamis) en el área de estudio.

Fecha	Intensidad y/o magnitud	Descripción	Referencia
1083-1171		Terremoto y tsunami interpretados mediante estudios estratigráficos y paleoecológicos. Evento de similares características al terremoto de Valdivia de 1960. Terremoto gigante.	Cisternas et al. (2005) Cisternas et al. (2017)
1280-1308		Terremoto grande registrado en una turbidita del lago Calafquén	Cisternas et al. (2017)
1310-1332		Terremoto y tsunami interpretados mediante estudios estratigráficos y paleoecológicos. Evento de similares características al terremoto de Valdivia de 1960. Terremoto gigante.	Cisternas et al. (2005) Cisternas et al. (2017)

Fecha	Intensidad y/o magnitud	Descripción	Referencia
1460-1470		Terremoto grande registrado en turbidita del lago Calafquén.	Cisternas et al. (2017)
1520	IX?	Terremoto. Zona de Valdivia hasta las Provincias australes (40°-41°S).	Petit-Breuilh (2004)
28-10-1562	X	Terremoto, tsunami (Concepción hasta Valdivia) y erupción del volcán Villarrica. Lugar: costa de Arauco y Cautín (37°-39°S). Afecta sur de Chile, deja daños en la costa entre Concepción y Valdivia. Ruina de La Imperial. El movimiento se sintió en más de 1500 km.	Petit-Breuilh (2004)
4-2-1570	X M: 8,5	Terremoto, derrumbes de tierra y tsunami (Concepción hasta Valdivia). Lugar: foco en Concepción (Penco) (36°-38°S). Muchos muertos, 2000 en Penco. Primera destrucción de la naciente ciudad de Concepción e Imperial (Carahue). Graves daños en la costa sur debido al tsunami. Se sintió en Santiago. Formación de grietas en el terreno.	Petit-Breuilh (2004)
16-12-1575	X	Terremoto, tsunami (Concepción, Toltén hasta Valdivia) y derrumbes. Lugar: Valdivia – Castro (39°-42°S). 20 españoles y 1200 indios indígenas ahogados. Destrucción de Valdivia (por terremoto y tsunami), Villarrica, Osorno, Imperial y Castro. Se sintió hasta en Santiago y causó daños en algunos edificios. El movimiento se sintió en 1500 km de costa. Grietas en el terreno y derrumbes de cerros /más de 20 muertos. Estudios estratigráficos y paleoecológicos revelan que el tsunami acecido incluso pudo ser mayor al ocurrido en el terremoto de Valdivia de 1960.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993) Palacios (2016) Lomnitz (1970) Cisternas (2005)
14-5-1633	IX – X	Terremoto, tsunami y tormenta. Lugar: Valdivia – Castro (Carelmapu, 39°-42°S). Ruina de las construcciones del Fuerte de Carelmapu. Daños en la Iglesia y en las casas. El movimiento fue tan fuerte que se salieron los muertos de sus sepulturas	Petit-Breuilh (2004) *Urrutia y Lanza (1993) catalogan este evento como Huracán.
15-3-1657	X – XI M: 8,0	Terremoto y tsunami (Concepción hasta Valdivia). Lugar: Foco en Concepción (Daños entre Talcahuano y Valparaíso; 36°-39°S). Segunda destrucción de la ciudad de Concepción (unos 20.000 habitantes entre españoles e indios). Daños en algunas construcciones de Santiago. Ruina en Chillán. Un ruido ensordecedor precedió al terremoto que seguido de un maremoto asoló a Concepción. El fuerte movimiento sísmico impidió a los habitantes mantenerse en pie. Las casas, los edificios e iglesias empezaron a caerse con el movimiento. El movimiento sísmico se sintió desde Quillota a Cautín.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993)
8-7-1730		Terremoto y tsunami. Lugar: Santiago/Centro-sur de Chile (Foco en Concepción; 36°-38°S). Un fuerte terremoto conmovió a la población entre La Serena y Valdivia. En Valdivia el maremoto hizo subir las aguas del río, causando algunos daños en los edificios, pero sin llegar a las fortificaciones de la ciudad.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993)

Fecha	Intensidad y/o magnitud	Descripción	Referencia
24-12-1737	X M: 7,5 - 8	Terremoto. Lugar: Valdivia y Concepción (Sur de Chile). Segunda ruina de Valdivia. Se pensó en trasladar los Fuertes de la Frontera. Un terremoto dejó en el suelo a gran parte de Valdivia, los fuertes Niebla, Mancera y Corral y los muros de defensa de la ciudad se destruyeron. La mayoría de los edificios y las casas, en sus partes exteriores e interiores quedaron seriamente averiadas. El sismo llegó a percibirse en Chiloé, donde igualmente dejó severos daños. Se propone que este terremoto se localizó en la zona norte de la ruptura del terremoto de Valdivia de 1960.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993) Cisternas et al. (2017) Palacios (2016)
25-5-1751	IX – X M: 8,5	Terremoto, tsunami y erupción del volcán Chillán. Lugar: Concepción (34°-38°S). Destrucción de todas las ciudades ente San Antonio y Concepción. Tres fuertes remesones de unos 6 minutos de duración ocasionaron daños entre San Felipe y Valdivia, con mayor incidencia en Concepción, que, además, sufrió las consecuencias de un maremoto. En Valdivia, los almacenes y las nuevas construcciones quedaron bastante dañadas.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993)
1799	°	Terremoto. Lugar: sur de Chile, foco en Angol (37°-39°S)	Petit-Breuilh (2004)
20-2-1835	XI M: 8,2	Terremoto, tsunami (Concepción hasta Valdivia), erupción del volcán Osorno, derrumbes, sollevamiento y subsidencia de la costa, erupción submarina en Juan Fernández. Lugar: Concepción-Talcahuano (36°-38°S). Terremoto se sintió desde Copiapó hasta Chiloé, dejando alrededor de doscientos muertos. Un maremoto destruyó las ciudades costeras. Este terremoto es conocido como el “terremoto de Darwin”, por haber sido presenciado por el naturalista que se encontraba en la zona (cerca de Valdivia). Señala “Día memorable en los anales de Valdivia, porque se ha sentido el más violento terremoto que según humana memoria se ha tenido aquí”	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993) Ruiz & Madariaga (2018) Gil (1945) Palacios (2016)
7-11-1837	X M: 8 al menos	Terremoto, tsunami, derrumbes en Chiloé y cambios geomorfológicos. Lugar: Valdivia-Chiloé/sur de Chile (39°-41°S). Foco en Temuco. Ruina de la ciudad de Valdivia. Daños en la costa debido al tsunami y en la cordillera a causa de los derrumbes. Fue más intenso que el de 1835 pero con menos daños, pues había poco que destruir. El tsunami afectó toda la costa sur, especialmente Chiloé. En la tierra se produjeron enormes grietas. Tsunami transoceánico producto de una ruptura menor al terremoto de Valdivia de 1960.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993) Palacios (2016)

Fecha	Intensidad y/o magnitud	Descripción	Referencia
			Ruiz & Madariaga (2018)
13-11-1907	-	Un fuerte temblor azotó a la zona comprendida entre Valdivia y Osorno. En Valdivia, la torre de la iglesia de La Matriz se hundió y el templo quedó ruinoso; el edificio de aduana no se pudo volver a ocupar; gran cantidad de las murallas cortafuego de las casas se derrumbaron.	Urrutia y Lanza (1993)
21 y 22 -05-1960	Mw: 9,5	Terremoto, tsunami, derrumbes, alzamiento y hundimientos costeros, erupción del Cordón Caulle. Grandes pérdidas económicas en las ciudades y pueblos del sur de Chile. Lugar: Valdivia-Puerto Montt (40°-41°S). Foco en Valdivia. Ruina de Pedro Saavedra, Tucapel y Nueva Imperial a causa del tsunami. Por su parte, la pómez emitida por el volcán Caulle cubrió vastas extensiones del sur hacia el este. Importantes cambios geomorfológicos en la costa (en más de 1000 km) que utilizaron las tierras de cultivo (zonas inundadas). El tsunami causó graves daños entre Valdivia y Puerto Montt, varamiento y hundimiento de barcos en la bahía de Corral y estuario de río Valdivia. Murieron al menos de 2000 personas producto del tsunami. Numerosas remociones en masa. Zona de ruptura de ~900-1000 km por ~60-200 km de ancho.	Petit-Breuilh (2004) Urrutia y Lanza (1993) Ruiz & Madariaga (2018) SHOA (2000)

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Inundaciones litorales

Se recopilaron los principales tsunamis registrados en la zona centro-sur de Chile y que afectaron el área de estudio (Tabla 3-1). Los mayores eventos con registro histórico corresponden a los tsunamis que precedieron a los grandes terremotos de 1575 y 1960.

La información que existe respecto del tsunami generados por el terremoto de 1960 es abundante en la zona costera de la comuna. Hacia el interior, no se encontraron antecedentes concretos sobre su alcance, sino que solo datos puntuales que permiten interpretar el alcance.

3.2.3. Inundaciones terrestres

Las inundaciones terrestres se denominan como tal debido a que ocurren “tierra adentro”, es decir, el territorio interior de los continentes es anegado por aguas dulces. Dentro de estas inundaciones se encuentran:

- Inundaciones por desborde de cauce: Fenómeno que ocurre cuando el agua conducida por ríos, esteros o quebradas sobrepasa su cauce natural desbordándose.
- Inundaciones por anegamiento: Fenómeno que sucede en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas.

En el estudio “Recopilación y análisis de antecedentes para fijar deslindes de los bienes nacionales de uso público que constituye el cauce del río Valdivia” (INH, 2003) se realiza una recopilación de material periodístico en el diario “El Correo de Valdivia” y su sucesor “El Austral de Valdivia” relativo a inundaciones ocurridas producto de eventos meteorológicos extremos que afectaron a algunos de los sectores de la ciudad de Valdivia.

La duración de los eventos de inundación varía entre 1 y 11 días, con un desfase temporal entre 1 y 4 días entre las precipitaciones y el caudal máximos (INH, 2003).

Entre las inundaciones ocurridas en la ciudad, destaca por sus características especiales la ocurrida en julio de 1960, que se genera por el desagüe de las aguas represadas en el lago Riñihue, producto de los deslizamientos que generó el terremoto en el valle del río San Pedro. Inundaciones de características similares ocurrieron con posterioridad al terremoto de 1575 (Palacios, 2016).

Debe considerarse que, producto del terremoto de mayo de 1960, se produjo un descenso del terreno en ciertos sectores cercanos al río que, en general, se estima entre 1,3 y 1,5 m, que se traducen en constantes inundaciones que se repiten regularmente (INH, 2003). En este sentido, la información previa a dicha fecha debe utilizarse con precaución.

A continuación, la Tabla 3-2 muestra los eventos históricos mencionados en la bibliografía.

Tabla 3-2 Catastro de inundaciones terrestres a partir de bibliografía.

Código	Fecha	Descripción	Fuente
	1576	Una remoción en masa, desencadenada por un sismo en diciembre de 1575, represó el cauce del lago Riñihue, formando un lago que después de 5 meses colapsó y generó un desborde que inundó gran parte de la ciudad de Valdivia	Palacios, (2016)
	26-04-1881	Una tromba marina de un frente de mal tiempo generó graves daños en edificios de la ciudad de Valdivia y dejó dos muertos.	Petit-Breuilh, (2004)
DB04	06-1899	Se estima que la inundación afectó a todos los barrios ribereños existentes a fines del siglo XIX. El nivel alcanzado por las aguas en el sector del Mercado Fluvial llegó a la actual cota de 3 m sobre el nivel de reducción de sondas del río. No se dispone de información meteorológica de esa fecha.	INH (2003)
	05-1912	Temporal en el centro y sur del país. En Valdivia, se desbordaron los ríos Calle Calle y Cruces.	Urrutia & Lanza (1993)
	1922	Afectó por 6 días a todos los barrios ribereños existentes en la ciudad. Las precipitaciones de ese mes (julio de 1922) alcanzaron 915 mm, siendo el más lluvioso en lo que iba del siglo XX a esa fecha. Hubo destrucción de la vía férrea, especialmente en la zona cercana a la estación.	INH (2003) Urrutia & Lanza (1993)
	04-1932	Temporal en la zona sur. Se produjeron inundaciones en Valdivia.	Urrutia & Lanza (1993)
DB01	1949	Afectó a todos los barrios ribereños por 11 días. Recios temporales de lluvia y viento acompañaron el desarrollo de esta inundación. El Calle Calle se desbordó en la costanera, se tuvo que evacuar la población Collico y en el sector industrial, el nivel del agua subió 2 metros.	INH (2003) Urrutia & Lanza (1993)

Código	Fecha	Descripción	Fuente
	06-1961	Temporal de viento y lluvia entre Valparaíso y Ancud. En Valdivia, se consideró que la inundación fue similar al desborde del Riñihue, en el año 1960. Barrios enteros quedaron cubiertos de agua. El barrio Collico quedó aislado por completo, se inundaron Niebla y Corral.	Urrutia & Lanza (1993)
DB02	07-1969	Cayeron 300 mm en 5 días. El río Calle Calle alcanzó un nivel 2,5 m superior a lo normal en invierno, incluso superior al "Riñihuazo". Se inundaron los Barrios Bajos.	Urrutia & Lanza (1993)
	04-12-1977		Aldunce & González (2009)
	1978		INH (2003)
	1980		INH (2003)
DB03	1984	Uno de los eventos de inundación más significativos en la ciudad. En los Barrios Bajos, el agua, al interior de las viviendas, alcanzó entre 1,3 y 1,5 m.	INH (2003)
	1985	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1986	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1987	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1988	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1989	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1990	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1992	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1993	Uno de los eventos de inundación más significativos en la ciudad.	INH (2003)
	1994	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1995	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1996	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	1997	Uno de los eventos de inundación más significativos en la ciudad. Anegamientos en zonas bajas.	INH (2003) ONEMI (1997)
	1998	Anegamiento en Barrios Bajos*	
	1999	Anegamiento en Barrios Bajos*	INH (2003)
	2000	Uno de los eventos de inundación más significativos en la ciudad.	INH (2003)
	2001		INH (2003)
	2002	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	2004	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	05-07-2005	Una serie de sistemas frontales afectaron distintas zonas de Chile. En Valdivia se registraron algunos impactos.	ONEMI (2005)
	2006		Acuña (2015)
	2007		Acuña (2015)
AN01	08-2008	Un sistema frontal afectó entre las regiones de O'Higgins y Magallanes. En Valdivia, hubo inundaciones en sectores de Camilo Henríquez, Vicente Pérez Rosales, Plazoleta Pastene y Bueras frente a Iglesia de La Merced.	ONEMI (2008)
	2009	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	2010	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	2011	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)
	2012	Anegamiento en Barrios Bajos*	Acuña (2015)

*Este estudio solo revisa Barrios Bajos.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los registros de prensa encontrados para eventos más actuales, se tiene que las áreas urbanas de Valdivia han sufrido inundaciones por desborde de cauce y por anegamiento, siendo principalmente el río Calle Calle y río Valdivia los que generan estas primeras inundaciones.

En la Tabla 3-3 se presenta el catastro elaborado a partir de estos registros y su georreferenciación dentro de lo posible.

Tabla 3-3 Catastro de inundaciones terrestres a partir de prensa.

Código	Año	Fecha	Tipo de evento	Sector	Coordenadas UTM	Precisión coordenada	Descripción	Referencia
AN18	2000	6 de junio	Inundación por anegamiento	Barrios Bajos	650030 E 5589997 N	Inexactas ubicadas en el sector	Barrios Bajos es el sector urbano más afectado por anegamientos.	El Diario Austral de Valdivia, página A10
AN19	2000	03 de julio	Inundación por anegamiento	Calle Miraflores	649724 E 5589060 N	Inexactas ubicadas en el sector	Denuncia de vecino de que por mal diseño de calzada recién pavimentada sufren continuos anegamientos.	El Diario Austral de Valdivia, portada
AN20	2000	01 de agosto	Inundación por anegamiento	Calles Camilo Henríquez con Cochrane, Calle Bueras, General Lagos.	649682 E 5589638 N	Inexactas ubicadas en el sector	Se anegaron sectores como Camilo Henríquez con Cochrane. Calle Bueras, debido a colapso de colectores. Y General Lagos, a la altura del Hotel Naguilán.	El Diario Austral de Valdivia, página A10
AN21	2004	29 de junio	Inundación por anegamiento	Barrios Bajos; calles Aníbal Pinto Cochrane y René Schneider. Campamento 2000, Viento Sur y Amor y Esfuerzo. Además de Teodoro Segovia, Sedeño y la ampliación de Carlos Acharán Arce en Las Animas.	652479 E 5589950 N	Inexactas ubicadas en el sector	Ocurrencia de anegamiento en distintos sectores de la capital provincial.	El Diario Austral de Valdivia, página A15
	2008	16 de julio	Inundación por anegamiento				Siete mil afectado por mal tiempo en la región de Los Ríos	El Diario Austral de Valdivia, página A2
DB05	2014	27 de julio	Inundación por desborde de cauce	Campamento Girasoles	653840 E 5589691 N	Inexactas ubicadas en el sector	Debido a la cantidad de basura existente en el cauce del estero Leño Seco, este se desbordó afectando al campamento.	https://www.soychile.cl/Valdivia/Sociedad/2014/07/27/264473/Sistema-frontal-provoca-problemas-menores-en-la-region-de-Los-Rios.aspx
	2018	16 de marzo	Inundación por anegamiento	Calles de Valdivia	-	-	Diversas calles de la ciudad de Valdivia se anegaron a causa de las lluvias.	https://twitter.com/biobio/status/974630049554092032

Código	Año	Fecha	Tipo de evento	Sector	Coordenadas UTM	Precisión coordenada	Descripción	Referencia
AN02	2018	05 de agosto	Inundación por anegamiento	Sector Collico	653403 E 5592078 N	Inexactas ubicadas en el sector	Durante dos días cayeron cerca de 100 m, anegando calles y viviendas del sector.	https://www.youtube.com/watch?v=PDE9iftFxy4 https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-los-rios/las-inundaciones-que-dejaron-las-lluvias-en-valdivia/2018-08-06/213843_12.html
AN03	2019	20 de julio	Inundación por anegamiento	El Arenal	653903 E 5595717 N	Inexactas ubicadas en el sector	Sistema frontal generó anegamientos de calles y viviendas del sector	https://www.mivaldivia.cl/2019/07/21/ciudad/sistema-frontal-dejo-anegamientos-deslizamientos-de-tierra-y-cortes-de-luz-en-los-rios/
AN04	2019	20 de julio	Inundación por anegamiento	Callejón Haverbeck	650074 E 5589839 N	Inexactas ubicadas en el sector	Sistema frontal generó anegamientos de calles y viviendas del sector	https://www.mivaldivia.cl/2019/07/21/ciudad/sistema-frontal-dejo-anegamientos-deslizamientos-de-tierra-y-cortes-de-luz-en-los-rios/
AN05	2021	08 de junio	Inundación por anegamiento	Av. Picarte con Hettich	652034 E 5589926 N	Exactas	Anegamiento en la intersección debido a las lluvias del sistema frontal	https://twitter.com/rioenlinea/status/1402248731068674050
AN06	2022	20 de mayo	Inundación por anegamiento	Isla Teja	649231 E 5591858 N	Inexactas ubicadas en el sector	Escasa lluvia anegó sectores de Isla Teja	https://www.facebook.com/SomosNoticiascl/videos/-valdivia-reportan-inundaciones-en-isla-teja/371683481687731/
	2022	23 de mayo	Inundación por anegamiento	-	-	-	Calles y avenidas de la ciudad de Valdivia sufren anegamiento a causa de las lluvias en el sector	https://www.facebook.com/RioenLinea/videos/en-vivo-calles-anegadas-por-lluvia-en-

Código	Año	Fecha	Tipo de evento	Sector	Coordenadas UTM	Precisión coordenada	Descripción	Referencia
								valdivia/375755861271755/
AN07	2022	19 de junio	Inundación por anegamiento	Calle Arica	649059 E 5588733 N	Inexactas ubicadas en el sector	Debido a la acumulación de aguas lluvias, la calle Arica y sus viviendas aledañas sufrieron anegamiento	https://www.facebook.com/informaalminuto/photos/a.526742580792226/2610560612410402/?type=3&locale=ms_MY
AN08	2022	28 de junio	Inundación por anegamiento	Norte Grande	652420 E 5592109 N	Inexactas ubicadas en el sector	Anegamiento en las calles y viviendas del sector debido a las precipitaciones	https://www.facebook.com/RioenLinea/videos/-ahora-reportan-inundaciones-en-sector-norte-grande-de-valdivia/777214653417760/
DB06	2022	09 de julio	Inundación por desborde de cauce	Sector Niebla	637344 E 5585873 N	Inexactas ubicadas en el sector	Intervención de un privado generó un represamiento en el cauce de un estero del sector	https://www.rioenlinea.cl/obstruccion-en-estero-de-la-costa-de-valdivia-genero-anegamientos-despliegan-equipos-de-emergencias/
AN09	2022	12 de agosto	Inundación por anegamiento	Sector San Luis	651921 E 5587530 N	Inexactas ubicadas en el sector	Las fuertes lluvias del sistema frontal anegaron la calle por lo que la feria libre de San Luis tuvo que desplazarse para su funcionamiento	https://www.rioenlinea.cl/feria-libre-de-valdivia-modificara-su-ubicacion-debido-a-malas-condiciones-de-las-calles/
AN10	2022	13 de agosto	Inundación por anegamiento	Norte Grande 2	652433 E 5592099 N	Inexactas ubicadas en el sector	Anegamiento de las calles y viviendas del sector debido a las lluvias intensas	https://www.facebook.com/SomosNoticiascl/videos/-valdivia-vecinos-de-norte-grande-2-reportan-inundaciones/816686582662573/?locale=ms_MY
AN11	2023	25 de mayo	Inundación por anegamiento	Av. Circunvalación	649655 E 5587382 N	Inexactas ubicadas en el sector	Las intensas lluvias generaron problemas en el tránsito vehicular por el anegamiento de las avenidas	https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-los-rios/2023/05/25/calles-anegadas-y-remociones-en-masa-los-efectos-de-

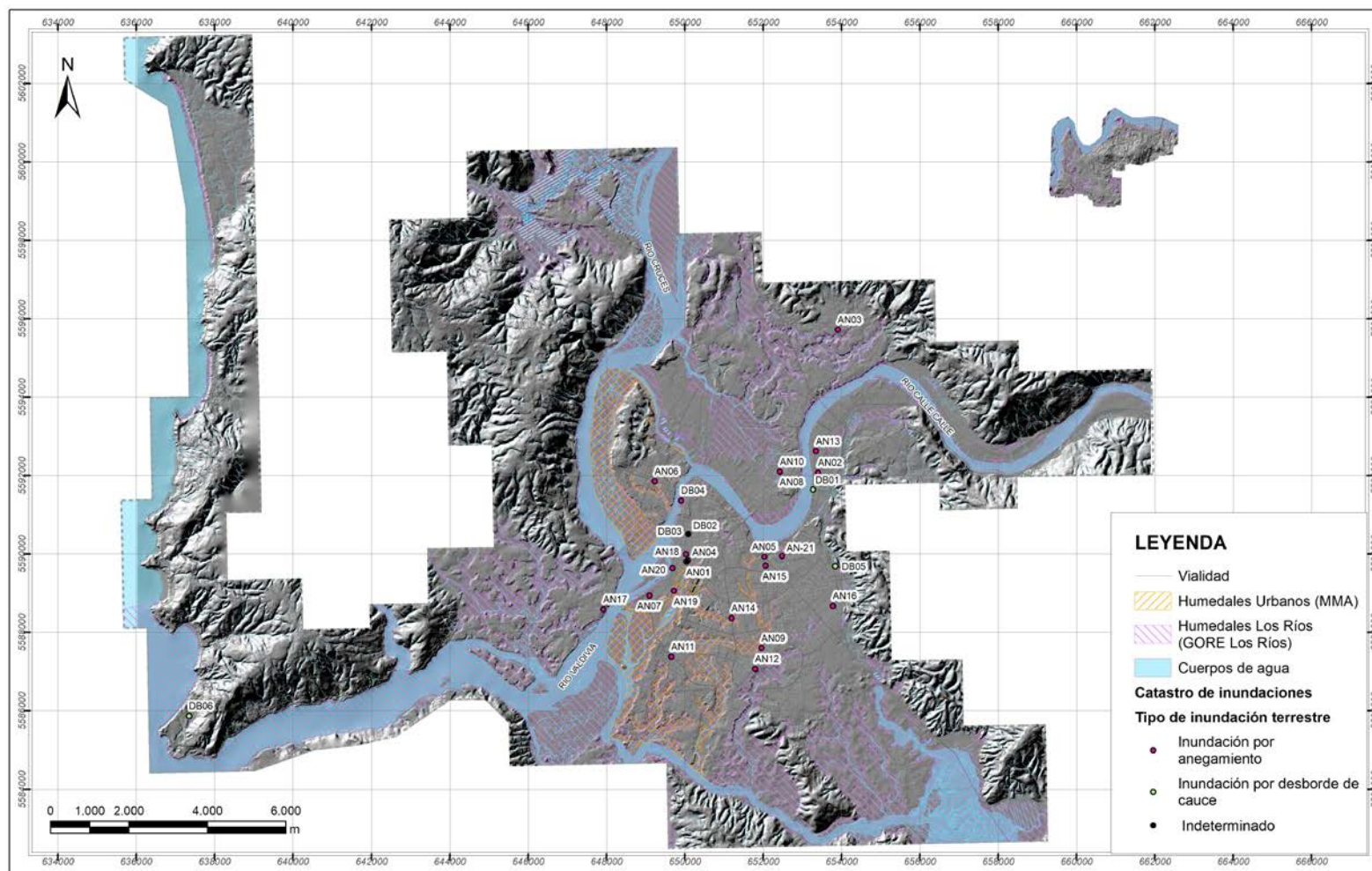
Código	Año	Fecha	Tipo de evento	Sector	Coordenadas UTM	Precisión coordenada	Descripción	Referencia
								sistema-frontal-en-la-region-de-los-rios.shtml
AN12	2023	25 de mayo	Inundación por anegamiento	Av. René Schneider	651791 E 5587071 N	Inexactas ubicadas en el sector	Las intensas lluvias generaron problemas en el tránsito vehicular por el anegamiento de las avenidas	https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/regio-n-de-los-rios/2023/05/25/calles-anegadas-y-remociones-en-masa-los-efectos-de-sistema-frontal-en-la-region-de-los-rios.shtml
AN13	2023	25 de mayo	Inundación por anegamiento	Calle Los Robles	653350 E 5592621 N	Inexactas ubicadas en el sector	Las intensas lluvias generaron problemas en el tránsito vehicular por el anegamiento de las avenidas	https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/regio-n-de-los-rios/2023/05/25/calles-anegadas-y-remociones-en-masa-los-efectos-de-sistema-frontal-en-la-region-de-los-rios.shtml
AN14	2023	25 de mayo	Inundación por anegamiento	Av. Pedro Montt	651109 E 5588854 N	Inexactas ubicadas en el sector	Las intensas lluvias generaron problemas en el tránsito vehicular por el anegamiento de las avenidas	https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/regio-n-de-los-rios/2023/05/25/calles-anegadas-y-remociones-en-masa-los-efectos-de-sistema-frontal-en-la-region-de-los-rios.shtml
AN15	2023	19 de julio	Inundación por anegamiento	Calle Errázuriz con Av. Simpson	652061 E 5589705 N	Exactas	Fuertes lluvias mantuvieron anegadas las avenidas del sector	https://www.diariodevaldivia.cl/noticia/actualidad/2023/07/fuertes-lluvias-mantienen-anegadas-distintas-calles-de-valdivia
AN16	2023	19 de julio	Inundación por anegamiento	Av. Pedro Montoya con Av. Martínez de Rozas	653778 E 5588678 N	Exactas	Fuertes lluvias mantuvieron anegadas las avenidas del sector	https://www.diariodevaldivia.cl/noticia/actualidad/2023/07/fuertes-lluvias-mantienen-anegadas-

Código	Año	Fecha	Tipo de evento	Sector	Coordenadas UTM	Precisión coordenada	Descripción	Referencia
								distintas-calles-de-valdivia
AN17	2023	19 de julio	Inundación por anegamiento	Sector Torobayo	647922 E 5588591 N	Inexactas ubicadas en el sector	Fuerte lluvias anegaron avenidas y viviendas del sector	https://www.diariodevaldivia.cl/noticia/actualidad/2023/07/fuertes-lluvias-mantienen-anegadas-distintas-calles-de-valdivia

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 3-9 presentan las inundaciones terrestres catastradas.

Ilustración 3-9 Mapa de catastro de inundaciones terrestres.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Remociones en masa

El término “remoción en masa” comprende una amplia variedad de procesos que generan el movimiento pendiente abajo de los materiales que conforman las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores. El movimiento de estos materiales puede ser mediante los mecanismos de caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007). Para los fines de este informe, las remociones en masa se han separado en dos tipos principales: “Procesos de ladera” y “Flujos de barro y/o detritos”.

- Procesos de ladera: Este tipo de peligro se subdivide en dos categorías que afectarían al área de estudio: caída de rocas y deslizamientos. La caída de rocas corresponde a bloques de rocas o suelo que se desprenden a partir de laderas de altas pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, para luego desplazarse en caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, 2000). Los deslizamientos corresponden a masas de suelo o roca que se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura bien definidas, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 2000).
- Flujos de barro y/o detritos: Los flujos de detritos, referidos comúnmente como “aluviones”, son un tipo de remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, et al., 2002).

En la Tabla 3-4 se presenta un catastro tomado del reciente trabajo desarrollado en la región de Los Ríos (SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos, 2023) cuyo catastro fue levantado a escala 1:5.000, misma escala de este trabajo. Este catastro se construyó a partir de fotointerpretación, trabajo de terreno y revisión de bibliográfica como, por ejemplo, asistencias técnicas de SERNAGEOMIN disponibles en el sitio web de la Biblioteca de SERNAGEOMIN². Las remociones en masa catastradas se presentan también en la Ilustración 3-10, los códigos utilizados tanto en la tabla como en la ilustración son los códigos ID originales del trabajo mencionado.

²Sitio web Biblioteca de SERNAGEOMIN. Búsqueda de asistencias técnicas en Valdivia:

https://catalogobiblioteca.sernageomin.cl/cgi-bin/koha/opac-search.pl?advsearch=1&idx=kw&q=asistencia+t%C3%A9cnica&op=and&idx=kw&q=valdivia&do=Buscar&sort_by=relevancia

Tabla 3-4 Catastro de remociones en masa.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4000	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente	Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	637349E 5592159N	Coordenadas exactas	Zona de terrazas artificiales (cortes) en ladera para construir ángulos no soportan estabilidad de suelo y agua fluyendo. Muy susceptible	
4001	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente		Observado en terreno	640867E 5586416N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo en zona urbanizada (ladera de quebrada). Se ve cicatriz y escurre agua. Al costado hay corte reciente con ángulo elevado. Observado desde camino; 641154 E; 5587588 N.	
4004	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638090E 5585257N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamiento superficial de suelo asociado a intervención.	
4005	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638300E 5585455N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamiento superficial de suelo asociado a intervención.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4006	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638465E 5585493N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamiento superficial de suelo asociado a intervención.	
4007	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637863E 5585303N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo.	
4008	Flujo indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638313E 5585520N	Coordenadas exactas	Zona de flujo que corta huella	
4009	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo	Invierno (del 21-06 al 20-09)	Medios digitales o escritos	637330E 5585147N	Coordenadas exactas	Deslizamiento que afectó a vivienda en Población Miramar de Niebla.	
4010	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637490E 5585558N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo antiguo por intervención	
4011	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637811E 5585867N	Coordenadas exactas	Zona de posible deslizamiento de suelo por intervención de la base.	
4012	Deslizamiento rotacional de arcilla/limo	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	636417E 5590881N	Coordenadas exactas	Zona de escarpe rotacional hacia la costa (marca de deslizamiento rotacional de suelo) y caída de rocas acantilado costero Ruta T 352.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4013	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	637734E 5596005N	Coordenadas exactas	Ladera ruta a Curiñanco en zona de Las Vertientes con caída de rocas, bloques y sedimento. Geometría de la ladera convexa. Bloques < 1 metro. Capas con distinta permeabilidad. Sale agua desde el talud.	
4014	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637833E 5595618N	Coordenadas exactas	Zona de generación de deslizamiento de suelo ruta T 352.	
4015	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637844E 5596233N	Coordenadas exactas	Zona de generación de posible deslizamiento (flujo) que desencadena caída. Atraviesa R 352.	
4016	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637834E 5596504N	Coordenadas exactas	Zona de generación de posible deslizamiento (flujo) que desencadena caída. Atraviesa R 352.	
4017	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	637838E 5596619N	Coordenadas exactas	Zona de generación de posible deslizamiento (flujo) que desencadena caída. Atraviesa R 352.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4018	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638347E 5597445N	Coordenadas exactas	Zona de posible deslizamiento de suelo por intervención de la base.	
4019	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638472E 5597619N	Coordenadas exactas	Zona de posible flujo en zona poblada. Se ven marcas en fotos de diciembre 2010. Flujo que continúa como deslizamiento.	
4020	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638399E 5597841N	Coordenadas exactas	Zona de flujo con evidencias en imágenes distintos años	
4021	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638968E 5598789N	Coordenadas exactas	Zona de flujo en zona poblada ruta T 340	
4022	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	638918E 5599165N	Coordenadas exactas	Zona de flujo en zona poblada ruta T 340.	
4023	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo		Observado en terreno	659472E 5599380N	Coordenadas exactas	Zona de ladera en roca muy meteorizada y suelo con contención (empalizada) rota por actividad de la remoción.	
4026	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	645363E 5599380N	Coordenadas exactas	Zona de generación de deslizamientos superficiales de suelo que afectan huella. Existen registros de 1960 cercanos	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4037	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	651786E 5583176N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de ladera del río Angachilla. Explotación Forestal.	
4038	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	653213E 5583321N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de ladera del río Angachilla. Explotación Forestal.	
4052	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2013	Fotointerpretado	654157E 5588594N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamiento superficial de suelo cerca de ruta nueva en construcción.	
4053	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2016	Fotointerpretado	655774E 5586265N	Coordenadas exactas	Zona de generación de deslizamiento superficial de suelo cerca de ruta 206.	
4054	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2016	Fotointerpretado	657841E 5585244N	Coordenadas exactas	Zona de generación de deslizamiento superficial de suelo cerca de ruta 206.	
4055	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2016	Fotointerpretado	658552E 5585464N	Coordenadas exactas	Zona de generación de deslizamiento superficial de suelo cerca de ruta 206.	
4057	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2013	Fotointerpretado	654680E 5588334N	Coordenadas exactas	Zona de generación de flujo en zona intervenida cerca de área urbana	
4059	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	657331E 5585441N	Coordenadas exactas	Zona de flujo (posible) en área poblada	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4060	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2013	Fotointerpretado	657765E 5584093N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamientos superficiales de suelo en ladera de ruta T 505.	
4061	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información	2013	Fotointerpretado	657770E 5583903N	Coordenadas exactas	Zona de generación deslizamientos superficiales de suelo en ladera de ruta T 505.	
4062	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	657576E 5584923N	Coordenadas exactas	Zona de generación de flujo (deslizamientos de suelo) en zona poblada cerca de Ruta T 505	
4063	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	657971E 5585055N	Coordenadas exactas	Zona de generación de flujo (deslizamientos de suelo) en zona poblada cerca de Ruta T 505	
4064	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Fotointerpretado	659128E 5582644N	Coordenadas exactas	Zona de generación de posible flujo en área poblada ruta T 507	
4081	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo	Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	650357E 5590115N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo en área urbana que afectó a viviendas. Situación latente en casas cercanas.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4082	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo		Observado en terreno	650378E 5590163N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo en área urbana que afectó a viviendas. Situación latente en casas cercanas. Sosténimiento insuficiente.	
4083	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	653022E 5590712N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo en área urbana latente en casas cercanas.	
4084	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo	Verano (del 21-12 al 20-03)	Observado en terreno	637779E 5596124N	Coordenadas exactas	Zona de remoción en masa en ruta sector las Vertientes con gatillante antrópico. Hay cortes y plataforma de casas. Polígono contiene punto 4013, 4084 y 13019	
4087	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	655213E 5596138N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo que afectan Ruta 313 (camino real)	
4088	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	655257E 5596183N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo que afectan Ruta 313 (camino real)	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4089	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	655914E 5596588N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo que afectan Ruta 313 (camino real)	
4093	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente		Observado en terreno	641226E 5586434N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla	
4097	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	651778E 5597361N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo en talud de Ruta 202 zona en construcción	
4098	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	652595E 5595581N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo en talud de Ruta 202 zona en construcción	
4099	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	653777E 5591655N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo en talud de Ruta zona en construcción.	
4100	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	653576E 5590442N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento de suelo en talud de Ruta zona en construcción.	
4101	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	640910E 5586348N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4102	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	640623E 5586248N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4103	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	640463E 5586398N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4104	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	639883E 5586232N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4105	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	639914E 5586582N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4106	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	638708E 5585608N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4107	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	638030E 5584934N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4108	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	637608E 5585143N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4109	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	637874E 5586560N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4110	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	637734E 5587604N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4111	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	637655E 5587991N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4112	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	637295E 5589500N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento de suelo en zona intervenida camino T 350 Niebla.	
4123	Caída de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	660644E 5593408N	Coordenadas exactas	Zona de caídas y deslizamiento de roca en corte de Ruta T 35 zona poblada de Huellehue	
4124	Caída de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	660450E 5593353N	Coordenadas exactas	Zona de caídas y deslizamiento de roca en corte de Ruta T 35 zona poblada de Huellehue	
4126	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	659346E 5592307N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento que afecta ruta T 35.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4127	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Latente		Observado en terreno	658720E 5592110N	Coordenadas exactas	Talud subvertical con suelo transportado con bloques	
4128	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	657770E 5591990N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento que afecta ruta T 35	
4129	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	657432E 5592003N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento que afecta ruta T 35	
4130	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Otro	657152E 5592191N	Coordenadas exactas	Zona de flujo y deslizamiento que afecta ruta T 35	
4168	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	642511E 5586970N	Coordenadas exactas	Zona de caída de bloques de roca y suelo (toda la ladera acceso a casas). Roca esquistos muy meteorizado y con musgo. También hay caída de suelos.	
4169	Deslizamiento compuesto de arcilla/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo		Observado en terreno	642501E 5586956N	Coordenadas exactas	Zona de aproximadamente 10 metros de ancho con deslizamientos menores de suelo en acceso secundario de ripio. Pinos sobre corona. Suelo espesor 2 metros.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4170	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	641791E 5586496N	Coordenadas exactas	Zona de ladera (corte artificial) acceso con deslizamiento de suelo y rocas. Zona latente. Accesos más recientes, más susceptibles. Importa el ángulo de reposo del material.	
4171	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	641079E 5586410N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamiento superficial de suelo en corte artificial con gaviones. Hay reactivación. Fluye agua. Observado desde camino; 641154 E; 5587588 N.	
4172	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	640973E 5586397N	Coordenadas exactas	Zona de caída de rocas y deslizamiento de suelo e corte artificial de roca muy meteorizada. Acceso a casas. Observado desde camino; 641154 E; 5587588 N	
4173	Caída de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	636633E 5588672N	Coordenadas exactas	Zona de caída de rocas (y suelo) en ladera camino a Curiñanco en cuesta. Hay evidencias de actividad en distintos períodos.	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4174	Deslizamiento rotacional de arcilla/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	636764E 5588719N	Coordenadas exactas	Deslizamientos rotacionales de suelo sobre esquistos in situ y bloques.	
4175	Deslizamiento de grava/arena/d e tritos	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	636922E 5588836N	Coordenadas exactas	Suelo transportado (esquisto) muy meteorizado con deslizamientos de suelo y rocas en acceso a casas.	
4176	Caída de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	636826E 5588735N	Coordenadas exactas	Foliación esquistos. Talud vertical, caída de rocas	
4177	Deslizamiento plano de arcilla/limo	Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	637181E 5592317N	Coordenadas exactas	Zona de ladera de ruta con bloques de roca. Erosión y deslizamiento en la base (suelo). Puede deslizarse la parte superior (colgada)	
4178	Deslizamiento compuesto de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	637762E 5596058N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de roca y suelo (esquistos pelíticos). Escarpe principal 1-2 metros. Caída de rocas asociada (bloques 0,5m). Continúa bajo la ruta	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4179	Deslizamiento compuesto de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	638062E 5597250N	Coordenadas exactas	Ladera de ruta principal afectada por deslizamiento de roca (distinto tipo: traslacional y caídas) y deslizamiento de suelo. También caída de suelo. Se repite hacia arriba de la cuesta.	
4185	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	640935E 5586433N	Coordenadas exactas	Corte artificial de la ladera con fuerte pendiente (para urbanización). Zona de deslizamiento de suelo. Observado desde camino; 641154 E; 5587588 N.	
4216	Caída de roca	Roca	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	657789E 5583597N	Coordenadas exactas	Caída de bloques de esquisto por diaclasas. Tamaño bloques 1 m	
4217	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	655229E 5596205N	Coordenadas exactas	Ladera deformada con caída de bloques de esquisto suelo y reptación de suelo	
4218	Deformación de laderas de montaña	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente		Observado en terreno	655236E 5596143N	Coordenadas exactas	Ladera con bosque y selva intervenida. Hay evidencias de deformación con árboles inclinados	

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4219	Deslizamiento de grava/arena/detrimentos	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	655262E 5596188N	Coordenadas exactas	Deslizamientos en talud vertical sobre ruta. Foliación	
4220	Caída de bloque/detrito/arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	655291E 5596109N	Coordenadas exactas	Ladera intervenida con caída de rocas, troncos y otros. Afecta ruta 313	
4221	Caída de bloque/detrito/arena/limo	Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	655894E 5594766N	Coordenadas exactas	Ladera de ruta 313 en zona con urbanización y caída de suelo. Progresivo	
4222	Deslizamiento rotacional de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	656021E 5596974N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de bloques de esquisto	
4232	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	660332E 5593025N	Coordenadas exactas	Ladera artificial en casa con material roca meteorizada. Observado desde camino; 661273 E; 5594593 N.	
4132	Deslizamiento de grava/arena/detrimentos	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo	Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	639128E 5586148N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de tipo flujo de barro Pino Huacho, por ruta T-350. Desencadenante antrópico	2018. Minuta Técnica: Evaluación preliminar de remoción en masa en sector de Pino Huacho, comuna de Valdivia, región de Los Ríos SERNAGEOMIN Los Ríos

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4133	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo	Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	637621E 5586605N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de suelo Ruta T-352 Niebla Los Molinos. Zona poblada.	2018. Densificación del inventario de remociones en masa del borde costero de la XIV región de Los Ríos, Chile. Informe de práctica profesional, Servicio Nacional de Geología y Minería. Maragaño, G.
4136	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente		Observado en terreno	637659E 5587473N	Coordenadas exactas	Derrumbe Ruta T-352, tramo Niebla - Los Molinos	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4137	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente		Observado en terreno	637637E 5587918N	Coordenadas exactas	Derrumbe Ruta T-352, tramo Niebla - Los Molinos	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4138	Deslizamiento compuesto de arcilla/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo		Observado en terreno	636696E 5588676N	Coordenadas exactas	Caída de rocas y deslizamiento de suelo. Ruta T-352 Sector Punta Brava, San Ignacio. 2013 a 2016	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4139	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo	1 Junio	Observado en terreno	636992E 5589048N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de suelo Ruta T-352 Sector Playa San Ignacio.	2019. Evaluación de remoción en masa el sector de playa San Ignacio. Ramírez C., P.
4140	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo	4 Mayo	Observado en terreno	637271E 5592144N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de suelo que afectó a casas en sector Loncoyén. Detonante al parecer corte antrópico con alto ángulo	2019. Evaluación de remoción en masa el sector de playa San Ignacio. Ramírez C., P.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4141	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Evento Sísmico	Sin información	22 Mayo	Otro	636844E 5602179N	Coordenadas exactas	Deslizamiento y caídas en la costa al norte Curiñanco.	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4144	Flujo de tierra	Suelo/Se dimento	Lluvias	Latente	29 Julio Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	637305E 5585116N	Coordenadas exactas	Deslizamiento de suelo (tipo flujo no canalizado) en corte de vivienda. Bajo volumen.	2016. Inspección técnica a vivienda sector Caleta El piojo, Niebla, SERNAGEOMIN Los Ríos, comuna de Valdivia, región de Los Ríos. Vera, M.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4145	Caída de roca	Roca	Sin información	Sin información		Observado en terreno	636590E 5585447N	Coordenadas exactas	Zonas con caídas de rocas en acantilado Fuerte de Niebla.	2018. Evaluación de propuesta "Diseño Complementario Mejoramiento Farellón Fuerte Niebla, comuna de Valdivia, Región de Los Ríos". Informe SERNAGEOMIN Astudillo F., Carrasco F. Figueroa M., Lacassie J., Miralles C.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4146	Caída de roca	Roca	Sin información	Sin información	26 Mayo Otoño (del 21-03 al 20-06)	Observado en terreno	637075E 5585958N	Coordenadas exactas	Zona de caída de rocas de acantilado, pasarela y fuerte.	2016. Informes Sernageomin. Sector Foso español, acceso sur Playa Grande, Niebla y Remociones en masa sector pasarela en Playa Grande de Niebla, Comuna de Valdivia. 2014. Remoción en masa sector pasarela en playa grande de Niebla, comuna de Valdivia. Bertin, L.
4147	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Sedimento	Lluvias	Latente	25 Agosto Invierno (del 21-06 al 20-09)	Observado en terreno	648033E 5589690N	Coordenadas exactas	Deslizamiento y caídas de rocas desde talud que une Isla Teja con Torobayo.	2019. Inspección de remoción en masa ocurrida el sector de Torobayo, comuna de Valdivia, Región de los Ríos. Lacassie, J.

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4148	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Evento Sísmico	Sin información	22 Mayo Otoño (del 21-03 al 20-06)	Otro	644013E 5588327N	Coordenadas exactas	Deslizamiento flujo en humedal Angachilla gatillado con sismo 1960.	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4233	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Roca y Suelo/Se dimento	Erosión pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	652767E 5590374N	Coordenadas exactas	Zona de caída de suelo y bloques en área urbana.	
4131	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Lluvias	Activo	4 Mayo Otoño (del 21-03 al 20-06)	Observado en terreno	637256E 5592147N	Coordenadas exactas	Zona de deslizamientos en zona poblada que afectaron a casas. Más de un evento en el sector.	2019. Evaluación de peligro de remoción en masa en el sector de Loncoyán, comuna de Valdivia, región de Los Ríos. Ramírez, P.
7104	Deslizamiento indeterminado	Sin informaci ón	Sin información	Relicto		Fotointerpretado	643618E 5585668N	Coordenadas exactas		
7105	Flujo indeterminado	Sin informaci ón	Sin información	Activo		Fotointerpretado	644399E 5586366N	Coordenadas exactas		
7106	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Sin información	Activo		Fotointerpretado	645128E 5586337N	Coordenadas exactas		

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4184	Caída de roca	Roca	Excavación pie de ladera/talud	Sin información		Observado en terreno	641675E 5586507N	Coordenadas exactas	Coordenadas lado opuesto del río. Mirador Canelo. Sobre salmonera en Isla del Rey	
4149	Flujo indeterminado	Suelo/Se dimento	Evento Sísmico	Activo	22 Mayo Otoño (del 21-03 al 20-06)	Otro	653567E 5596513N	Coordenadas exactas	Zona de flujo en zona en poblamiento.	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4135	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Sin información	Sin información		Observado en terreno	637614E 5587148N	Coordenadas exactas	Derrumbe Ruta T-352, Puente Seco, tramo Niebla - Los Molinos	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.

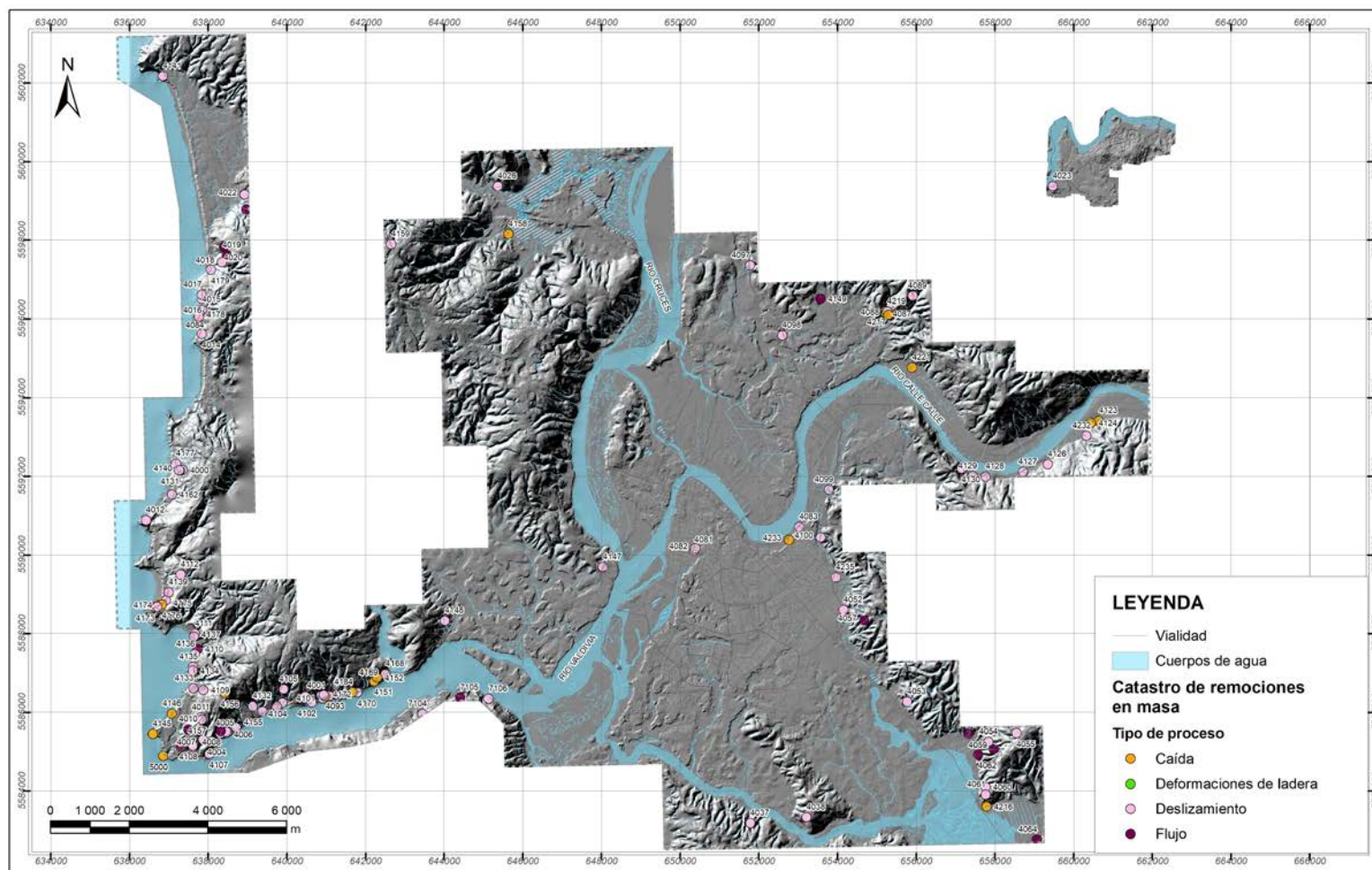
Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
4134	Deslizamiento rotacional de roca	Roca y Suelo/Se dimento	Evento Sísmico	Latente	22 Mayo Otoño (del 21-03 al 20-06)	Otro	637604E 5587051N	Coordenadas exactas	Deslizamiento rotacional en Niebla por sismo 1960	2022. Informe de Práctica Profesional: Catastro de remociones en masa en el borde costero de la región de Los Ríos, Chile Maragaño, G.
4151	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	642216E 5586783N	Coordenadas exactas		
4152	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	642293E 5586875N	Coordenadas exactas		
4153	Deslizamiento indeterminado	Roca y Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	639716E 5586102N	Coordenadas exactas		
4155	Deslizamiento indeterminado	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	639382E 5586018N	Coordenadas exactas		
4156	Caída de bloque/detrito /arena/limo	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	638422E 5586487N	Coordenadas exactas		
4157	Deslizamiento compuesto de arcilla/limo	Suelo/Se dimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	637838E 5585808N	Coordenadas exactas		
4162	Deslizamiento de	Suelo/Se dimento	Sin información	Activo		Observado en terreno	637073E 5591536N	Coordenadas exactas		

Código	Clasificación	Tipo de material	Detonante	Estado de actividad	Fecha	Método de observación	Coordenadas	Precisión	Notas	Fuente
	grava/arena/detrimentos									
4154	Deslizamiento traslacional de roca	Roca	Excavación pie de ladera/talud	Latente		Observado en terreno	639744E 5586135N	Coordenadas exactas		
4158	Caída de bloque/detrimento/arena/limo	Suelo/Sedimento	Erosión pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	645636E 5598157N	Coordenadas exactas		
4159	Deslizamiento traslacional de roca	Roca	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	642653E 5597903N	Coordenadas exactas		
4235	Deslizamiento rotacional de arcilla/limo	Suelo/Sedimento	Excavación pie de ladera/talud	Activo		Observado en terreno	140477E 5582519N	Coordenadas exactas	Excavación de talud en Av. Donald Canter, en una zona donde se desencadenó una remoción en masa e implementación de gaviones.	
5000 ³	Caída de bloque/detrimento/arena/limo	Roca/Suelo/Sedimento	Lluvias	Activo	Agosto 2018 y septiembre 2023	Otro	636854 E 5584885 N	Coordenadas exactas	Caídas en Playa Chica de Niebla	2023. Informe técnico: Reinspección de remoción en masa ocurrida en Playa Chica de Niebla, comuna de Valdivia, región de Los Ríos. Astudillo F. y Lacassie J.P.

Fuente: Modificado de SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos (2023)

³ Posterior a estudio SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos (2023)

Ilustración 3-10 Mapa de catastro de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia

3.3. Diagnóstico de amenazas

3.3.1. Sismicidad

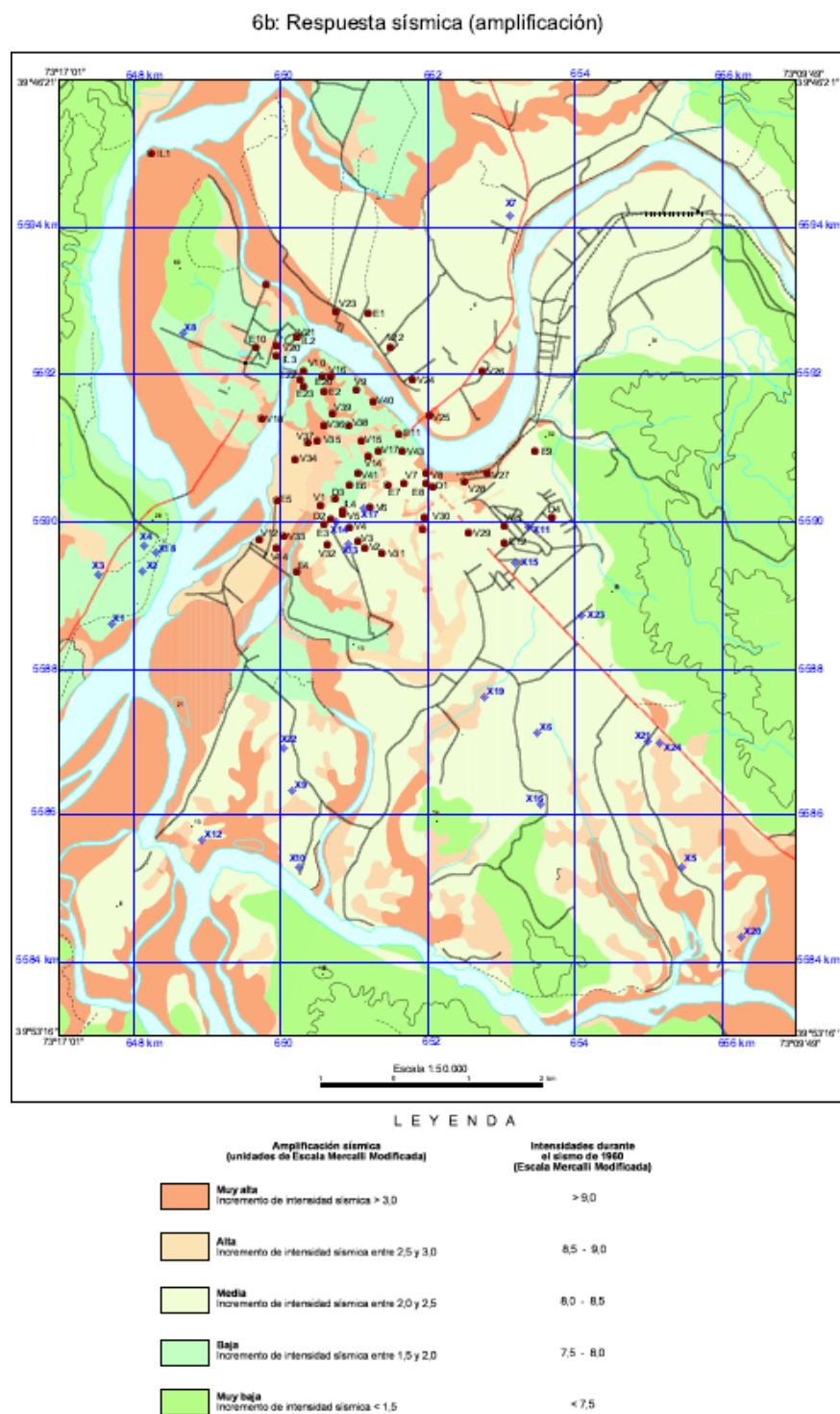
En mayor o menor medida, las fuentes sismogénicas presentes en el área tienen la capacidad de generar terremotos que afectan el territorio estudiado a una escala regional. En particular, la fuente sísmica de tipo interplaca produce los terremotos más frecuentes (que están ampliamente registrados en el catastro, Tabla 3-1), y se encuentra contemplada en las normas chilenas NCh 433 (“Diseño sísmico de edificios”) y NCh 2.369 (“Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”) que definen las exigencias de diseño que deben cumplir las edificaciones con relación al peligro sísmico. En cuanto a los sismos corticales generados por fallas activas alojadas en la corteza terrestre, no se cuenta con información suficiente debido a su escasa o nula aparición en el registro instrumental e histórico, así como en el registro geológico.

Respecto a los suelos de fundación, y tal como mencionan Arenas et al. (2005) en el informe de Geología para el ordenamiento territorial: área de Valdivia, la expansión de la ciudad de Valdivia ha implicado el emplazamiento en sectores bajos formados por vegas y humedales, para lo cual se han llevado a cabo rellenos artificiales lo que podría generar una amenaza en términos de respuesta sísmica.

En el mismo estudio, se presenta un mapa de respuesta sísmica acotado a un área menor al del levantamiento cartográfico de este estudio, basado en la amplificación sísmica. Este mapa se muestra en la Ilustración 3-11 y los detalles de la metodología de la elaboración del mapa se pueden encontrar en el informe de Arenas et al. (2005). Se destaca lo siguiente: “En general, la zonificación de la respuesta sísmica coincide con los límites de las unidades geológicas. Las diferencias al interior de estas unidades se explican, principalmente, por las variaciones en la litología y la profundidad del nivel freático, y algunas consideraciones topográficas, como el incremento asociado a los escarpes y riberas de los ríos, debido a la falta de confinamiento y el alto contenido de agua. El relleno artificial es el que amplifica más las ondas sísmicas, debido al uso de materiales y técnicas de relleno inadecuadas. En igual condición se encuentran las zonas pantanosas, inundadas desde el sismo de 1960, principalmente por su alto contenido de materia orgánica y agua”. Lo que indica que dentro del área de Valdivia se identifican suelos con diferentes condiciones geotécnicas que resultan en diferentes respuestas sísmicas.

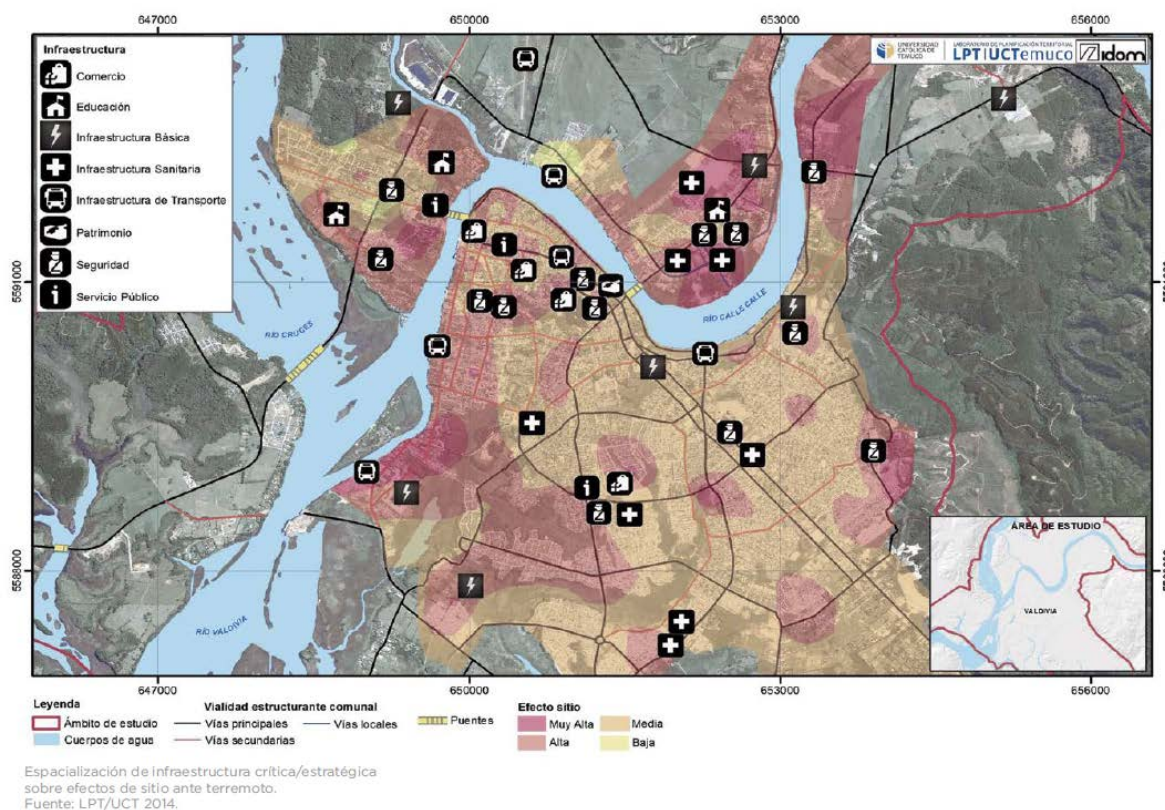
Igualmente, en el estudio de SUBDERE (2014) y en el informe de Valdivia Capital Sostenible Plan de Acción ICES del Banco Interamericano de Desarrollo (2015) se realiza un análisis y presenta un mapa de infraestructura crítica sobre amplificación sísmica por efecto de sitio ante terremoto (Ilustración 3-12).

Ilustración 3-11 Respuesta sísmica suelos Valdivia (amplificación sísmica).



Fuente: Tomado de mapa 6 desarrollado por Arenas et al. (2005).

Ilustración 3-12 Mapa de infraestructura crítica sobre amplificación sísmica por efecto de sitio ante terremoto.



Fuente: Tomado de Valdivia Capital Sostenible Plan de Acción ICES del Banco Interamericano de Desarrollo (2015)

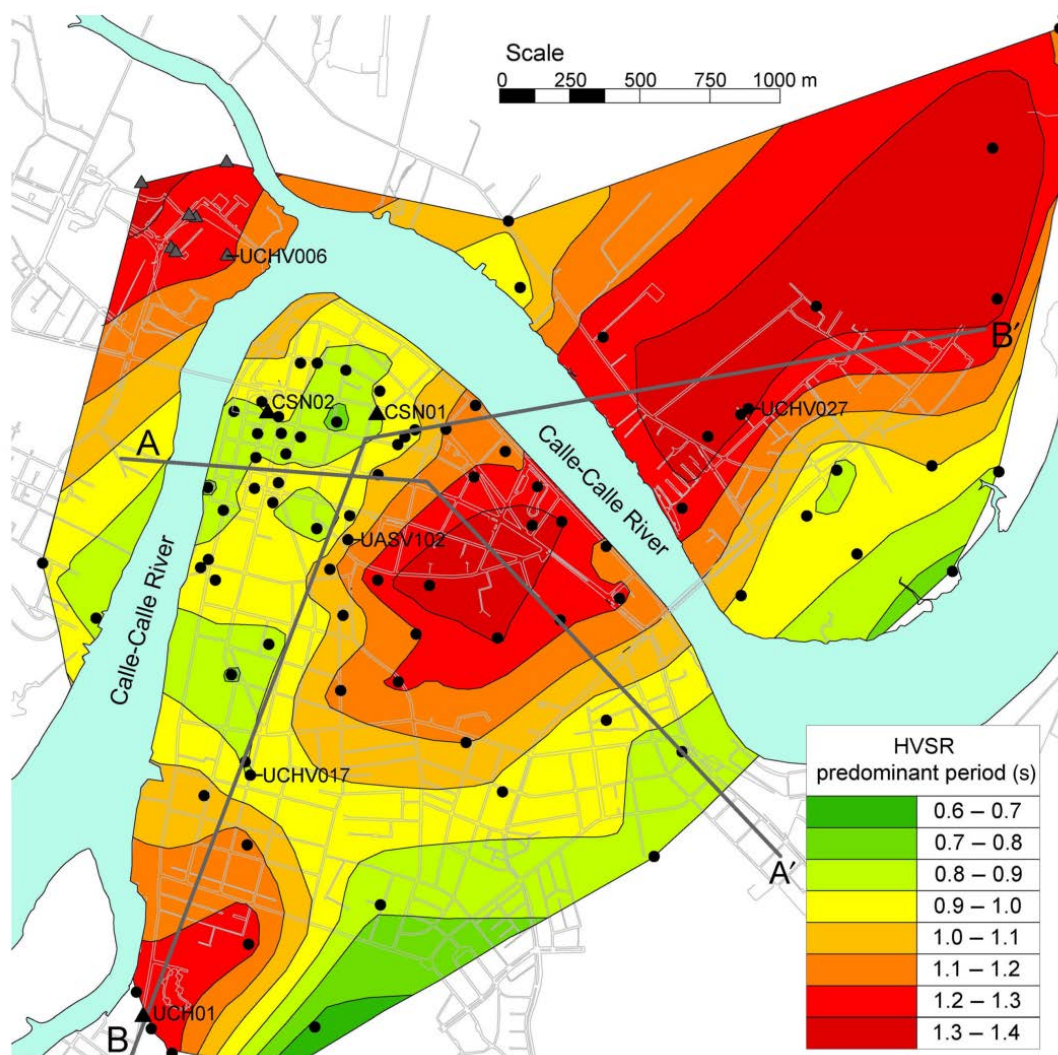
Otro estudio en que se ocuparon técnicas geofísicas para determinar la relación entre los suelos de fundación y los daños registrados durante el sismo del 21 de mayo de 1960 en Valdivia (Pastén, et al., 2021), mediante el registro de los daños catastrados por tipo de construcción, las velocidades de ondas de corte (V_{s30}) y las relaciones espectrales horizontales-verticales de los suelos (HVSr) concluyen que la velocidad de las ondas de corte y las relaciones espectrales horizontales-verticales de los suelos de Valdivia permiten entender los daños que podría causar un terremoto en la ciudad. Los perfiles de velocidad de las ondas de corte proporcionan información sobre la rigidez y las propiedades de los suelos de fundación. Por su parte, el análisis de HVSr revela los períodos de vibración predominantes en diferentes lugares estudiados de la ciudad, indicando contrastes de impedancia entre los sedimentos y el lecho rocoso subyacente. Estos datos proporcionan información sobre el comportamiento dinámico de los suelos y su interacción con las estructuras durante los eventos sísmicos.

En general se tiene que el daño tiende a ocurrir cuando el período de la estructura se asemeja al período del suelo donde se encuentra emplazada, y por lo mismo, las estructuras cimentadas sobre suelos con determinados periodos de vibración o características de impedancia pueden

experimentar diferentes niveles de daños en función de cómo respondan a las sacudidas del terreno.

Dado el gran alcance a escala regional de la sismicidad de tipo interplaca, así como las grandes incertezas relacionadas a la actividad de las fallas corticales cercanas, la sismicidad – como proceso - no se puede zonificar a la escala de detalle de este estudio. Sin embargo, resulta útil tener en consideración los mapas de respuesta sísmica presentados en esta sección y que han sido desarrollados por Arenas et al. (2005), el presentado en el estudio de SUBDERE (2014) y en el informe de Valdivia Capital Sostenible Plan de Acción ICES del Banco Interamericano de Desarrollo (2015) y en Pastén et al. (2021). Se debe considerar, para este caso, que estos mapas abarcan un área menor al área de este estudio lo que limita su aplicación.

Ilustración 3-13 Mapa de resultados de la interpolación de los períodos predominantes HVSr en Valdivia.



Fuente: Pastén et al. (2021).

Estos mapas de unidades geotécnicas, junto con las litológicas, pueden servir de orientación respecto de la aptitud del terreno para la construcción de edificaciones, a pesar de que a partir de estos no es posible concluir en forma tajante sobre las limitaciones específicas para la edificación. Como, por ejemplo, altura de la estructura. Además, sin parámetros específicos del suelo, es difícil determinar sus condiciones de resistencia, lo que agregado a que las unidades de suelos de Valdivia muestran una heterogeneidad propia de su origen fluvial y estuarial, por lo que cualquier generalización se debe considerarse con un criterio conservador.

Los estudios y diseños deben regirse por las normas chilenas de construcción, incluida la NCh 1508 sobre estudios de mecánica de suelos, y en particular, la norma sísmica NCh 433 para el diseño sísmico de edificios y la NCh2369 para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales. Considerando que los períodos de vibración de una estructura están dados por la altura y la rigidez de esta, es recomendable que, dentro del desarrollo de edificaciones se asegure que el período de estas no sea similar a los del suelo donde se fundarán.

Por otro lado, los efectos indirectos de la sismicidad en el área están ligados a su capacidad de generar tsunamis, así como remociones en masa (caídas de rocas y deslizamientos), los cuales tienen un alto potencial destructivo en las áreas urbanas.

En conclusión, el área de estudio se encuentra expuesta a la amenaza sísmica de dos fuentes, siendo la principal la relacionada a terremotos interplaca, y una secundaria de tipo cortical. La sismicidad puede ser un factor desencadenante de otras amenazas, como tsunami y remociones en masa. Para el diseño de edificaciones debe considerarse las normativas sísmicas vigentes y estudiar que las condiciones del sitio donde se fundarán para poder determinar parámetros adecuados que permitan reducir el riesgo de daño para las estructuras.

3.3.2. Inundaciones litorales

Los tsunamis son fenómenos que responden a perturbaciones intensas y de corta duración en las masas de agua. Los desencadenantes de estas perturbaciones pueden ser los movimientos sísmicos o las remociones en masa que pueden impactar la superficie (remoción subaérea) o desplazar el fondo (remoción subacuática) de los cuerpos de agua.

En la zona de Valdivia existe un amplio registro de tsunamis relacionados a terremotos de subducción, como respuesta al movimiento repentino del fondo del marino. La cercanía de la costa con la zona de subducción, así como la baja elevación con respecto al nivel de mar que tienen las zonas litorales y estuarinas, son factores que permiten la llegada y el ingreso del tsunami tierra adentro.

Dos de los mayores tsunamis históricos que han afectado las costas de al oeste de Valdivia, fueron los ocurridos en 1575 y 1960, producto de la ruptura de terremotos gigantes (con largos de ruptura de ~1000 km; (Cisternas, et al., 2005)). Los *run-up* del tsunami de 1960 en la zona de la bahía de Corral alcanzaron los 10-15 m, generando gran destrucción (SHOA, 2000; Cisternas, et al., 2005). Si bien las principales descripciones del tsunami cerca de Valdivia corresponden a lo sucedido en la bahía de Corral y estuario del río Valdivia, los trenes de ondas del tsunami se adentraron río arriba alcanzando las zonas bajas de Valdivia (SHOA, 2000). Dada la gigantesca magnitud de ambos terremotos interplaca, los tsunamis resultantes tuvieron un alcance transoceánico, alcanzando las

costas distantes de Hawái (*run-up* máximo de 14 m) y Japón (6 m), entre otras, en el océano Pacífico (Atwater, et al., 2009).

En la zona existen cartas de inundación para Corral (TSU-XIV-60, 2^{da} edición agosto 2014) y Niebla (TSU-XIV-50, 1^a edición diciembre 2019), donde esta última abarca parte de la Bahía de Corral y el tramo final de desembocadura del río Valdivia. Ambas cartas fueron elaboradas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) a partir de simulación numérica tomando como referencia el tsunami extremo ocurrido el año 1960.

En el sector comprendido en el estuario del río Valdivia, solo se cuenta con antecedentes puntuales, como el lugar donde fueron depositados algunos barcos, pero no se cuenta con información acerca de la forma como se atenúa la altura máxima o su alcance.

Se debe considerar también que desde el año 1960 hasta la actualidad la ciudad ha crecido. Por lo tanto, existen zonas de la ciudad actual donde se desconoce si fueron afectadas por el tsunami de 1960 por falta de información.

Adicionalmente, la ciudad de Valdivia no cuenta con una carta de inundación por tsunami t las cartas de Niebla y Corral no entregan antecedentes acerca de la forma como remonta el tsunami hacia el interior del río.

En resumen, en la zona costera de la comuna se cuenta con información suficiente para analizar los efectos de un tsunami, sin embargo, en el estuario del río Valdivia la información es ambigua e insuficiente, de manera que cualquier análisis que se realice en esta zona necesita muchos supuestos.

3.3.3. Inundaciones terrestres

El diagnóstico de las inundaciones en Valdivia se basa en la recopilación y sistematización de antecedentes que se presenta en el estudio “Recopilación y análisis de antecedentes para fijar deslindes de los bienes nacionales de uso público de constituye el cauce del río Valdivia” (INH, 2003), e incorpora antecedentes específicos provenientes de otras fuentes como registro de eventos históricos e información de catastro.

La hidrografía de la zona de Valdivia está controlada por las características de los cauces que se encuentran en la ciudad y en su entorno, que lo convierten, probablemente, en el sistema estuarial más complejo de Chile.

La primera característica de estos ríos es que desaguan cuencas muy lluviosas y de grandes dimensiones, por lo que tienen grandes caudales. En el caso del río Calle Calle, se debe considerar que su caudal depende de un complejo sistema fluviolacustre, en el que las aguas, especialmente de lluvias, son reguladas en los lagos andinos, originando un caudal abundante y relativamente uniforme durante el año.

Otra característica de los cauces de la ciudad, y esta misma, es que se encuentran a muy pocos metros por sobre el nivel del mar y tienen muy poca pendiente, de manera que la velocidad de escurrimiento es baja.

Esto se comprueba a partir de los registros de niveles que se compilaron en la “Hidrogeología de la cuenca del río Valdivia” (Páez, et al., 2014), que muestran que el nivel estático en los depósitos no consolidados de prácticamente toda la comuna se encontraría muy cerca del nivel del mar. Otra demostración de lo anterior, a partir de los resultados del estudio de Páez et al. (2014) es que algunos lugares donde se analizaron muestras de agua presentan una composición con evidente influencia agua marina, incluso en muestras que se encuentran muy hacia el interior (por ejemplo, pozo P021 en el sector Las Mulatas).

Como consecuencia de lo anterior, los niveles del agua y el caudal en el río Valdivia son el resultado de la interacción entre fenómenos marítimos y fluviales. Entre los efectos de esta condición, el río Valdivia no puede contar con registros continuos de caudales, ya que las mareas ejercen su influencia hasta 50 km hacia el interior. Esta condición también afecta, aunque en menor medida, a sus dos principales tributarios.

Para representar esta situación, las inundaciones ocurridas entre 1987 y 2002, en las cuales se dispone de registros fluviométricos, el caudal detonante fluctúa entre 1.441 m³/s, bajo condiciones de plena marea de sicigias, y 2.372 m³/s, fuera de sicigias plena, aunque no en cuadratura. No se reconocieron inundaciones en cuadratura, pero se estima que el caudal debiera ser mayor que 2.500 m³/s.

En cuanto a la distribución temporal de las inundaciones, la frecuencia de eventos durante el siglo XX fue entre 5 y 7 por década, mayoritariamente en los meses de junio y julio (64,7%).

Las áreas susceptibles de ser cubiertas por las aguas durante un evento de inundación de características similares al que ocurrió en el año 1899 se localizan mayoritariamente en Las Ánimas, Miraflores-Las Mulatas y Collico. Un ejemplo de ello es que, en el sector de Las Ánimas, en la actualidad, se encuentran calles que terminan en el río donde este fácilmente se puede desbordar, encauzar y limitar el acceso a las viviendas aledañas, o afectarlas directamente (Ilustración 3-14).

Por otro lado, una característica muy relevante de este territorio y que se describe en mayor detalle en el capítulo 3.1.3 Geomorfología, es la presencia de humedales en gran parte de la comuna. Los humedales son relevantes en la mitigación de los efectos del cambio climático porque contribuyen a la regulación de la cantidad de agua, por lo que destacan por su función en el control de inundaciones (Costanza et al. 1997; Peña-Cortés et al. 2006; Jogo & Hassan 2010 en SUBDERE (2014)). De esta manera, son elementos sensibles y necesarios para la prevención de mayores inundaciones terrestres, especialmente para el anegamiento, debido a que son capaces de contenerla.

Ilustración 3-14 Ejemplo de inundación por desborde de cauce en la localidad de Las Ánimas.

Fuente: Registro de terreno.

El terremoto y maremoto de 1960 hundi6 la zona de Valdivia (Ilustraci6n 3-15) en aproximadamente 1,6 m, profundizando el r6o, inundando las tierras bajas aleda6as y ensanchando la superficie de escurrimiento. Considerando estos cambios topogr6ficos, se estima que una inundaci6n de caracter6sticas similares a la de 1899 con marea de sicigia podr6a inundar las zonas que se encuentran a una cota de hasta 5 m por sobre el nivel del r6o Valdivia, y que incluye la llanura fluvial (Ilustraci6n 3-16), humedales ribere6os y en llanuras fluviales interiores (Ilustraci6n 3-17) y a zonas ribere6as de relleno artificial.

Ilustración 3-15 Ejemplo de humedal interior del sector Las Gaviotas generado por el hundimiento de 1960.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-16 Ejemplo de terraza fluvial del río Calle Calle en el sector Manantiales.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-17 Ejemplo de llanuras fluviales interiores.



a) Corresponde a las afueras de la Cárcel Valdivia. b) Corresponde al canal Catrico desde la calle Bertolotto. Fuente: Registro de terreno.

En el estudio “El suelo de fundación de Valdivia” (Barozzi & Lemke, 1966) se delimita el área cubierta por la inundación del 30 de mayo al 2 de junio de 1961. Este informe señala que el área que se delimita es más propensa que las adyacentes a inundarse periódicamente, sin embargo, esta es la primera gran inundación ocurrida con posterioridad al terremoto de 1960, en que el nivel del terreno tuvo un descenso considerable. Por lo tanto, es posible que esta última afirmación contenga sesgos. Pese a lo anterior, el contar con información tan detallada de la zona inundada resulta invaluable en la evaluación de esta amenaza en Valdivia.

Por otro lado, debido al bajo escurrimiento generalizado en la ciudad de Valdivia y a las copiosas lluvias que ocasionalmente alcanzan los 40 mm en un día, el anegamiento es algo que afecta a calles con escaso drenaje como la calle Bertolotto con Beneficencia (Ilustración 3-18), calle Demmerer o la calle Chuquicamata; zonas en bajos topográficos donde el drenaje es lento como por ejemplo el sector de Huelleshue o terrenos en calle Las Gaviotas (Ilustración 3-19 e Ilustración 3-20).

Ilustración 3-18 Ejemplo de anegamiento en calle Bertolotto.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-19 Ejemplo de anegamiento en bajo topográfico en el sector Huellelhue.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-20 Ejemplo de anegamiento en el sector Las Gaviotas.



Fuente: Registro de terreno.

Por otro lado, el sector que históricamente ha sido afectado por inundaciones por anegamiento es el sector de Barrios Bajos, donde sus calles se inundaban más de dos veces al año como consecuencia de las copiosas lluvias de la zona. Sin embargo, desde que existen colectores de aguas lluvias, estos efectos negativos en el sector han disminuido considerablemente. Estas zonas son principalmente la calle Vicente Pérez Rosales, General Lagos, Domeyko con Goycolea, Vicente Pérez Rosales con callejón Haverbeck y calle Coronel Santiago Bueras frente al colegio Domus Mater.

Otro sector que ha presentado inundaciones por anegamiento de manera frecuente es el sector de Collico, donde hay calles que presentan depresiones y que las panderetas de pasajes funcionan como barrera que frena el escurrimiento de las aguas lluvias. Además, estas calles se encuentran en zonas que previamente fueron pequeños esteros, los cuales hoy están intervenidos. Un ejemplo de esto es en la calle Blanco Encalada y Santa Ana, tal como se puede observar en la Ilustración 3-21.

Ilustración 3-21 Anegamiento en sector Collico, en calle Santa Ana con Blanco Encalada.



Fuente: Tomada de Cooperativa en https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-los-rios/las-inundaciones-que-dejaron-las-lluvias-en-valdivia/2018-08-06/213843_5.html

Finalmente, debido a las características geomorfológicas, hidrológicas e hidrográficas, a la meteorología del territorio y la composición del suelo y su comportamiento frente al estrés hídrico, existe un difuso límite entre los desbordes de cauce y los anegamientos. Esto se evidencia principalmente en las zonas de humedal que a su vez tienen una relación directa con cauces de la red hidrográfica. Por ende, en gran parte del territorio comunal las zonas anegadas se relacionan con las zonas afectadas por desborde de cauce.

3.3.4. Remociones en masa

A partir de la información obtenida del catastro de remociones en masa, se reconoce la evidencia tanto geomorfológica como de eventos históricos que dan cuenta de la ocurrencia de estos procesos en la comuna. Se identificó que existe una gran cantidad de eventos y que estos corresponden principalmente a deslizamientos de suelo o roca, y en menor medida a deformaciones de ladera, caídas de roca (todos estos procesos se agrupan en “procesos de ladera”) y flujos.

La mayoría de los eventos de procesos de ladera se concentran en el área costera de la comuna, entre las localidades de Cutipay, Niebla, Los Molinos y San Ignacio, extendiéndose hasta Curiñanco (Ilustración 3-22). También se reconocen en otros sectores como la Cuesta Soto y camino a Huellethue (Ilustración 3-23). Además, la ciudad de Valdivia tiene algunos taludes los cuáles han generado procesos de ladera de tipo caídas y deslizamientos, como por ejemplo en las calles Clemente Escobar, Av. Patricio Lynch, Av. Donald Canter y conexión Santa Elvira – Av. Circunvalación (Ilustración 3-24).

Ilustración 3-22 Ejemplo de deslizamiento de suelo en San Ignacio, ruta T-352.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-23 Ejemplo de deslizamientos menores camino a Huellehue, ruta T-35.



Fuente: Registro de terreno.

Ilustración 3-24 Ejemplo de deslizamiento de suelo en área urbana de Valdivia, en calle Clemente Escobar.



Fuente: Registro de terreno.

En general, las condiciones que se reconocen donde se generan estos procesos corresponden a laderas con fuertes pendientes que forman parte del relieve montañoso presente. Geológicamente corresponden principalmente a rocas metamórficas del complejo metamórfico Bahía Mansa con alto grado de meteorización o suelos residuales de gran espesor que en algunos casos preservan planos de debilidad heredados de la roca original, asociados a la foliación de estas rocas metamórficas (Ilustración 3-25). Otro factor que se ha reconocido, en particular en el borde costero, es la inestabilidad en laderas provocada por la exposición directa a la erosión marina.

Ilustración 3-25 Ejemplo de afloramiento de rocas metamórficas del complejo metamórfico Bahía Mansa con alto grado de meteorización y formación de suelo residual.



Fuente: Registro de terreno.

Además, un factor relevante que aumenta la favorabilidad de que ocurran procesos de ladera corresponde a la intervención antrópica debido a la alta demanda habitacional, que se ha traducido en un incremento del desarrollo urbano en estas laderas. Para estas construcciones, se han cortado taludes y se ha construido en laderas empinadas, como lo evidencia la Ilustración 3-26. Esto genera inestabilidad de taludes, debilitamiento por sobrecarga en el borde de escarpes o formación de cárcavas por mayor erosión por aguas lluvia.

Ilustración 3-26 Intervención antrópica entre Cutipay y San Ignacio.



Fuente: Registro de terreno.

Por otro lado, con relación a los flujos de barro y/o detritos, la cantidad de eventos catastrados es mucho menor que los de procesos de ladera, y estos tienen poco alcance dado que el desnivel entre la zona donde se generan y la zona terminal no es muy grande. Sin embargo, la mayoría de estos

eventos reconocidos se encuentran cerca de zonas intervenidas y/o habitas por lo que resulta relevante su revisión. Además, existe gran cantidad de quebradas de alta pendiente que podrían estar propensas a la ocurrencia de estos procesos.

La principal causa generadora (o factor gatillante) de remociones en masa, tanto de procesos de ladera como de flujos, en este sector son las precipitaciones que, de acuerdo con las características climáticas de la comuna, están presentes todo el año y especialmente durante los meses de invierno. También se ha reconocido las fuertes ráfagas de viento asociados a los sistemas frontales como otro factor gatillante de procesos de ladera.

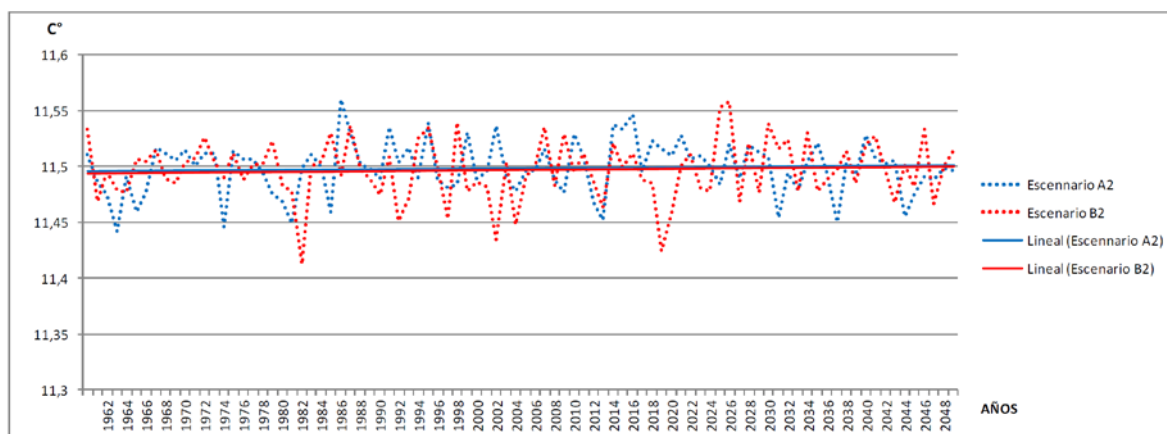
Las características mencionadas ya se habían reconocido en estudios previos que abarcan la comuna como el estudio “Geología para el ordenamiento territorial, área Valdivia” (Arenas, et al., 2005) y el estudio “Zonificación de áreas expuestas a peligros de remoción en masa en la región de Los Ríos” (SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos, 2023), que junto con la ocurrencia de remociones en masa en los últimos años y que se mencionan en los informes técnicos de Sernageomin, dan cuenta de que la comuna está sumamente expuesta a este tipo de amenazas.

3.4. Consideraciones generales sobre cambio climático

Existen múltiples estudios que presentan el efecto del cambio climático en Chile. Así lo expresa la “Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial” del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), la cual también especifica que estos estudios proyectan para los próximos años una disminución en las precipitaciones y un alza en la temperatura en la mayor parte del país, además de un aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos, como sequías e inundaciones.

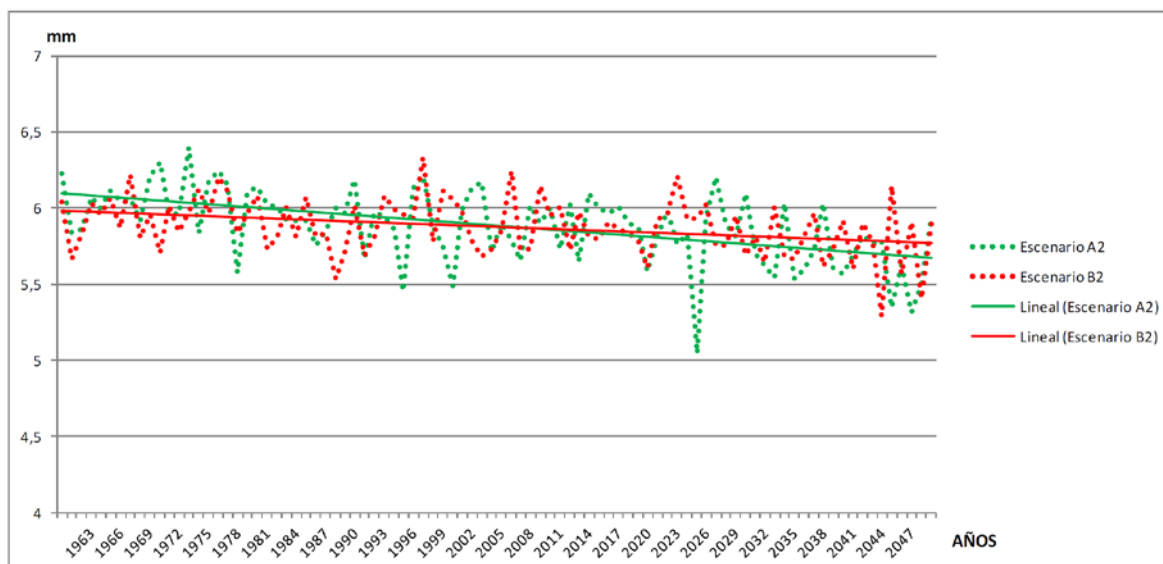
El trabajo de SUBDERE (2014) realiza un análisis de detalle sobre cambio climático en Valdivia. Llevaron a cabo modelos de escenario a 2030 y 2050, a partir del escalamiento de los resultados de los escenarios A2 y B2 del IPCC, para temperatura y precipitaciones. En ambos casos muestran resultados obtenidos en la estación de la Universidad Austral de Chile (UACH). De acuerdo con sus resultados, reconocen un leve aumento en las temperaturas promedio y disminución en las precipitaciones promedio, en concordancia con lo que se proyecta para el resto del país. Estos resultados se muestran en los Gráfico 3-3 y Gráfico 3-4.

Gráfico 3-3 Temperatura media anual, escenarios A2 y B2 estación UACH.



Fuente: SUBDERE (2014)

Gráfico 3-4 Precipitación media anual, escenarios A2 y B2 estación UACH.



Fuente: SUBDERE (2014)

En cuanto a los cambios en el nivel del mar, el trabajo de SUBDERE (2014) menciona que a escala mundial está aumentando sostenidamente (Church & White, 2011; NOAA, 2013). Entre 1870 y 2005 el nivel promedio del mar aumentó en 19,5 cm (Church & White, 2006) y entre 1950 y 2009 el nivel aumentó a una tasa de 1,7 mm/año según los mareógrafos. La tasa es aún más alta si se consideran mediciones altimétricas satelitales, alcanzando los 2,9 mm/año entre 1985 y 2004 (Kuo, 2006), y 3,3 mm/año entre 1993 y 2009 (Nicholls & Cazenave, 2010).

Sin embargo, en el mismo estudio se analizaron los registros de mareógrafo de Corral y se realizaron proyecciones locales. Según lo analizado, y contrariamente a lo esperado, los resultados indican que el mar ha bajado en la zona de Valdivia durante la primera mitad de este siglo. Mediante dos metodologías distintas las proyecciones indican que al año 2030 el mar estará entre 6 y 8 cm más abajo que el nivel actual. Hacia mediados de siglo, alrededor del 2050, la disminución alcanzará entre 13 y 17 cm. Esta tendencia de disminución del nivel del mar en la zona de Valdivia, aparentemente contradictoria con la tendencia global, la explican por el tectonismo inter-sísmico al que está sometida la región y las proyecciones de disminución solo se cumpliría en el caso de que no haya otro terremoto antes del año 2050 que pudiera generar nuevamente una subsidencia en Valdivia.

Estos cambios en el comportamiento del clima tienen efectos en las características geográficas del país, lo que a su vez tiene implicancias en la susceptibilidad de ocurrencia de amenazas de origen natural y antrópico:

- El aumento de temperaturas y la disminución de precipitaciones puede generar laderas más inestables, por lo tanto, un incremento de la generación de remociones en masa. Aumento de olas de calor, generaría incendios en bosques nativos que a su vez provocaría también un alza en la generación de remociones en masa.
- El aumento de eventos de precipitaciones extremas aumenta la probabilidad de inundaciones por anegamiento, inundaciones por desborde de cauce y, además, la generación de remociones en masa.
- El aumento del nivel del mar, debido al incremento general de temperaturas, podría acrecentar el poder destructivo de los tsunamis y de los efectos de las mareas en Valdivia.

Es importante tener en consideración las variaciones climáticas que están ocurriendo, dado que estas podrían aumentar la generación de amenazas y su grado de afectación. El presente estudio de riesgos no realiza una revisión de detalle de las proyecciones climáticas, sin embargo, considera los resultados de otros estudios que si lo hacen. Por otra parte, los antecedentes geomorfológicos y geológicos, si bien no muestran de forma fidedigna de los escenarios esperados producto del cambio climático, sí representan las posibles condiciones más desfavorables, de manera que se incluyen posibles situaciones más extremas, no observadas anteriormente en tiempos históricos.

4. Zonificación

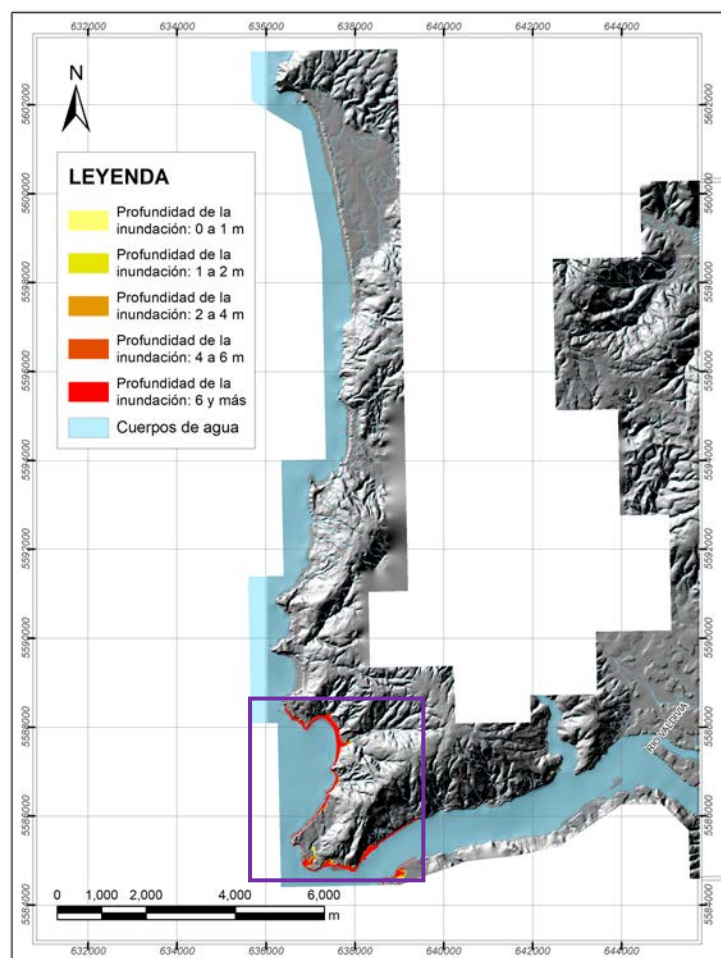
4.1. Definición y aplicación de metodologías

4.1.1. Inundaciones litorales

La metodología utilizada para definir la susceptibilidad por tsunami es el resultado de un análisis cualitativo a partir de las características geomorfológicas de la zona. Con el fin de para determinar sectores que, en mayor o menor medida, se encuentran expuestas a la ocurrencia de tsunami.

Se consideró como referencia la carta de inundación por tsunami (CITSU) del SHOA para Niebla (TSU-XIV-50, 1a edición diciembre 2019) que se basa en el tsunami del año 1960 y que establece niveles de inundación mediante el modelo de simulación numérica COMCOT. Los resultados entregados en la CITSU se dividen en niveles según profundidad de inundación en metros: 0 a 1 m, 1 a 2 m, 2 a 4 m, 4 a 6 m, y 6 y más (Ilustración 4-1).

Ilustración 4-1 Carta de Inundación por Tsunami del SHOA para Niebla. En el cuadro morado se muestra el área abarcada por esta carta.



Se asignó niveles de susceptibilidad a estas profundidades de inundación según lo que establece la «Guía Metodológica para la Elaboración de Estudios de Riesgo de los Planes Reguladores del Nivel Comunal e Intercomunal» - DDU 510 (MINVU, 2024), de la siguiente manera:

Tabla 4-1 Asignación niveles de susceptibilidad en función de la profundidad de inundación determinada por SHOA.

Profundidad de inundación	> 2 m	Muy Alta
	1 a 2 m	Alta
	< 1 m	Moderada

Estos niveles se continuaron a lo largo de la costa, desde Niebla hasta Curiñanco, estableciendo curvas de nivel guía para su simplificación, buscando mantener criterios en todo el borde costero. Hacia la localidad de Valdivia, por el río Valdivia, se tuvo en consideración la pérdida de energía que tendría un tsunami al desplazarse hacia el interior. Se tomó como referencia que las zonas en las que SHOA realizó simulaciones numéricas serían las más afectadas y que, si bien no existe información detallada de las características del tsunami hacia el interior, se encuentran registros de relatos en prensa de barcos arrastrados por el tsunami a lo largo del río Valdivia. En particular el Barco Canelos varado en el sector Tres Espinos⁴ y el Draga Covadonga que varó en el estero Cutipay⁵.

4.1.2. Inundaciones terrestres

a) Inundación por desborde de cauce

Para la zonificación de inundación por desborde de cauce se utilizaron tres metodologías diferentes debido a los insumos proporcionados para el estudio y la fiabilidad de cada uno de estos según el sector donde se cuente con ellos (los detalles del levantamiento cartográfico para este estudio se especifican en el capítulo 2.2).

En las zonas donde se cuenta con un Modelo de Elevación Digital (DEM) de buena resolución (de 1 m por pixel), se utilizaron criterios geomorfológicos y la herramienta IdW method (Olson, et al., 2014) de ArcGIS, la cual requiere como entradas el DEM y una polilínea que represente los cauces principales como los río Valdivia, Cruces y Calle Calle junto con esteros y escorrentías perennes que tributan a estos. Luego, se considera un radio máximo de 3500 m para tomar los valores originales de elevación de los cauces, representados por la polilínea, y a través del algoritmo se modifican las elevaciones del DEM. De esta manera, se obtiene un modelo de elevación relativo a los cauces establecidos (REM, por sus siglas en inglés). Para estos sectores se definió, adicionalmente, que por debajo de la cota 2 m s. n. m., se debe asignar un nivel de susceptibilidad especial, para incorporar el efecto que pueden ejercer las mareas sobre la altura de escurrimiento en los ríos.

⁴ Sitio web <https://www.14sur.cl/vapor-canelos/>

⁵ Sitio web <https://issuu.com/terremoto1960/docs/1960memoriasdeundesastre/102>

Este resultado se validó a través de registros históricos de inundación y el área cubierta por la inundación del 30 de mayo al 2 junio de 1961 del estudio “El suelo de fundación de Valdivia” (Barozzi & Lemke, 1966).

En las zonas donde se cuenta con un DEM de menor detalle (de 5 m por píxel), como en el sector de Huellethue y Punucapa, se utilizaron criterios geomorfológicos donde se seleccionaron las geoformas relacionadas a un origen fluvial.

Por otro lado, en los sectores ubicados entre Niebla y Curiñanco se consideró la hidrografía proporcionada para este estudio, representadas por polilíneas, y se seleccionaron aquellos esteros principales que desembocan al océano. Posteriormente, a estas líneas se les aplicó un buffer de 3 m que representa el cauce principal y la planicie fluvial de cada curso de agua.

Finalmente, para permitir una correcta aplicabilidad en planificación de la cobertura de susceptibilidad obtenida hasta este punto, se procedió a una edición final de carácter manual de aquellas zonas que, aun habiendo ejecutado los pasos anteriores, todavía presentaban ruido innecesario o bordes irregulares.

b) Inundación por anegamiento

Para la zonificación de inundación por anegamiento se utilizaron distintas metodologías para el reconocimiento de zonas anegables debido a la complejidad de esta amenaza y a la fiabilidad de los insumos dispuestos.

La primera metodología aplicada a toda la zona de estudio consistió en la utilización del DEM al cual se le aplicó la herramienta Fill de ArcGIS, de manera que se rellenaron automáticamente todos los sectores, que por resolución espacial del insumo se pudieron reconocer, con características de sumideros (o bajos topográficos con ausencia de drenaje). Luego, se restó el DEM original con el DEM resultante. Así, se obtuvieron las zonas con potencial de anegamiento.

La segunda metodología consistió en la utilización del catastro, registro de terreno donde se reconocieron eventos de anegamiento y zonas con condiciones palustres que presentan vegetación hidrófita, reconocidas por medio de los humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente y los humedales reconocidos por el proyecto Humedal Los Ríos del Gobierno Regional. De esta forma, las zonas se corrigieron por medio de las curvas de nivel disponibles y se seleccionaron los sectores con potencial de anegamiento.

Finalmente, la última metodología para reconocer otras zonas con potencial de anegamiento fue la utilización del resultado de desborde de cauce. Allí se seleccionaron los polígonos que mostraban potencial de desborde de cauce pero que, según el modelo, no tenían conexión hidráulica con el cauce, las cuales representarían zonas deprimidas.

En todos los casos se realizó posteriormente una revisión y corrección manual para eliminar ruidos o inconsistencias del modelo respecto al comportamiento de las curvas de nivel y las observaciones de terreno realizadas.

4.1.3. Remociones en masa

a) Procesos de Ladera

Para la zonificación de procesos de ladera se utilizó la metodología de ponderación de capas ráster en el que cada capa representa a un factor condicionante. Para ello, lo primero fue definir los factores que condicionan los procesos de ladera.

En la zona de estudio, se reconoció que los factores condicionantes principales son las pendientes, la geología y el uso de suelo.

Para la capa de **pendiente**, se utilizó el ráster derivado del DEM utilizado en este estudio (capítulo 3.1.3). Los valores de pendientes se reclasificaron considerando los intervalos propuestos por Esaki et al. (2005). Así, los intervalos de categorización de pendientes utilizados fueron: 0° - 15°, 15° - 25°, 25° - 35° y > 35°. Para la **geología**, se utilizó la capa elaborada en este estudio (capítulo 3.1.2 de línea de base de geología), la cual es un ajuste a escala de detalle del mapa de Sernageomin de Valdivia – Corral (Mella B., et al., 2012). Para el **uso de suelo**, se utilizó la cobertura de CONAF (2017) de vegetación y uso de suelo.

Para la construcción del mapa de susceptibilidad, se utilizó uno método estadístico bivariado conocido como razón de frecuencia. La razón de frecuencia se ha utilizado en múltiples estudios (ej. Choi et al. (2012), Ehret et al. (2010), Lee (2014) en Silalahi et al. (2019)), el cual calcula la razón entre la ocurrencia de remociones en masa (RM) y los factores condicionantes. Este método permite asignar pesos a las unidades de cada capa, con bases estadísticas, a partir del catastro. Se obtiene la razón de frecuencia (RF) para cada unidad o intervalo de los factores condicionantes (Fi), a partir de la siguiente formula:

$$RF \text{ de } Fi = \frac{\text{cantidad de RM en } Fi / \text{cantidad de RM en el área total}}{\text{área que abarca } Fi / \text{área total}}$$

El resultado de la razón de frecuencia indica el grado de correlación, mientras mayor es el valor, mayor es la correlación y, por lo tanto, se asocia a una mayor favorabilidad de que ocurran procesos de ladera.

Luego de obtener los valores de RF para cada unidad o intervalo, se evaluó la pertinencia de agrupar ciertos valores similares, con el fin de disminuir la cantidad de combinaciones posibles y con ello favorecer la visualización de los criterios en el resultado de susceptibilidad. La Tabla 4-2 se muestra los valores de razón de frecuencia que se utilizaron en este estudio.

Tabla 4-2 Valores de razón de frecuencia utilizados para el mapa de susceptibilidad de procesos de ladera.

	Unidad o intervalo	Valor de razón de frecuencia
Pendientes	Menor a 15°	0.04
	Entre 15° y 25°	1.96
	Entre 25° y 35°	6.11
	Mayor a 35°	6.11
Geología	Depósitos fluviales	0.23
	Depósitos litorales	0.23
	Depósitos de remoción en masa	0.23
	Depósitos fluviales antiugios	0.23
	Depósitos eólicos	0.23
	Depósitos fluvioestuarinos	0.23
	Depósitos fluviales y deltaicos	0.23
	Depósitos fluviales y glaciofluviales	0.23
	Formación Santo Domingo	0.23
	Dacita Laurel	0.23
	Depósitos aluviales	2.08
	Complejo Metamórfico Bahía Mansa	2.08
Usos de suelo	Cuerpos de Agua	0.00
	Terrenos Agrícolas	0.00
	Humedales	0.00
	Bosques	1.07
	Áreas Urbanas e Industriales	1.07
	Praderas y Matorrales	1.78
	Áreas Desprovistas de Vegetación	5.31

Luego de definir los valores de razón de frecuencia para cada factor condicionante, se sumaron los resultados de cada factor para obtener la razón de frecuencia total y con ello la susceptibilidad de procesos de ladera:

$$\text{Susceptibilidad} = \text{RF Pendiente} + \text{RF Uso de suelo} + \text{RF Geología}$$

Las posibles combinaciones de razón de frecuencia se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Combinaciones razón de frecuencia ordenadas de menor a mayor.

Pendientes	Geología	Usos de suelo	Razón de frecuencia total
Menor a 15°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	0.27
Menor a 15°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	1.34
Menor a 15°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Praderas y Matorrales	2.05
Menor a 15°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	2.13
Entre 15° y 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	2.19
Menor a 15°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	3.20
Entre 15° y 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	3.26
Menor a 15°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Praderas y Matorrales	3.91
Entre 15° y 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Praderas y Matorrales	3.97
Entre 15° y 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	4.04
Entre 15° y 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	5.11
Menor a 15°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Áreas Desprovistas de Vegetación	5.58
Entre 15° y 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Praderas y Matorrales	5.82
Mayor a 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	6.33
Mayor a 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	7.40

Pendientes	Geología	Usos de suelo	Razón de frecuencia total
Menor a 15°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Áreas Desprovistas de Vegetación	7.44
Entre 15° y 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Áreas Desprovistas de Vegetación	7.50
Mayor a 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Praderas y Matorrales	8.11
Mayor a 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Cuerpos de Agua o Terrenos Agrícolas o Humedales	8.19
Mayor a 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Bosques o Áreas Urbanas e Industriales	9.26
Entre 15° y 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Áreas Desprovistas de Vegetación	9.36
Mayor a 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Praderas y Matorrales	9.97
Mayor a 25°	Formación Santo Domingo o Dacita Laurel u otros depósitos (distintos a aluviales)	Áreas Desprovistas de Vegetación	11.64
Mayor a 25°	Complejo Metamórfico Bahía Mansa o Depósitos aluviales	Áreas Desprovistas de Vegetación	13.50

Finalmente, para permitir una correcta aplicabilidad en planificación de la cobertura de susceptibilidad obtenida hasta este punto, se procedió a una edición final semiautomática mediante herramientas de sistemas de información geográfica de simplificación de aquellas zonas que, aun habiendo ejecutado los pasos anteriores, todavía presentaban ruido innecesario o anchos reducidos para la escala de análisis.

b) Flujos de barro y/o detritos

Los flujos de barro y/o detritos se desarrollan principalmente en zonas de relieve montañoso, donde el escurrimiento de agua forma quebradas, con incisiones de distinta profundidad. En la mayoría de los casos las quebradas se asocian a incisiones relativamente profundas, que definen bien las quebradas, aunque existen algunas quebradas menos marcadas, donde la zona de escurrimiento resulta algo más incierta.

En la parte terminal de las quebradas, muchas de ellas cambian abruptamente desde pendientes relativamente altas, por lo general mayores que 15°, a zonas planas, con pendientes que pocas veces superan los 3°.

Una dificultad que se presenta en la zona es que la vegetación impide identificar las quebradas mediante imágenes satelitales o fotografías aéreas.

Considerando las condiciones descritas, la zonificación de flujos de barro y/o detritos se realizó mediante las curvas de nivel, que se utilizaron para identificar las áreas que presentan formas que se pueden atribuir a este tipo de procesos, tanto en zonas montañosas como en zonas relativamente planas.

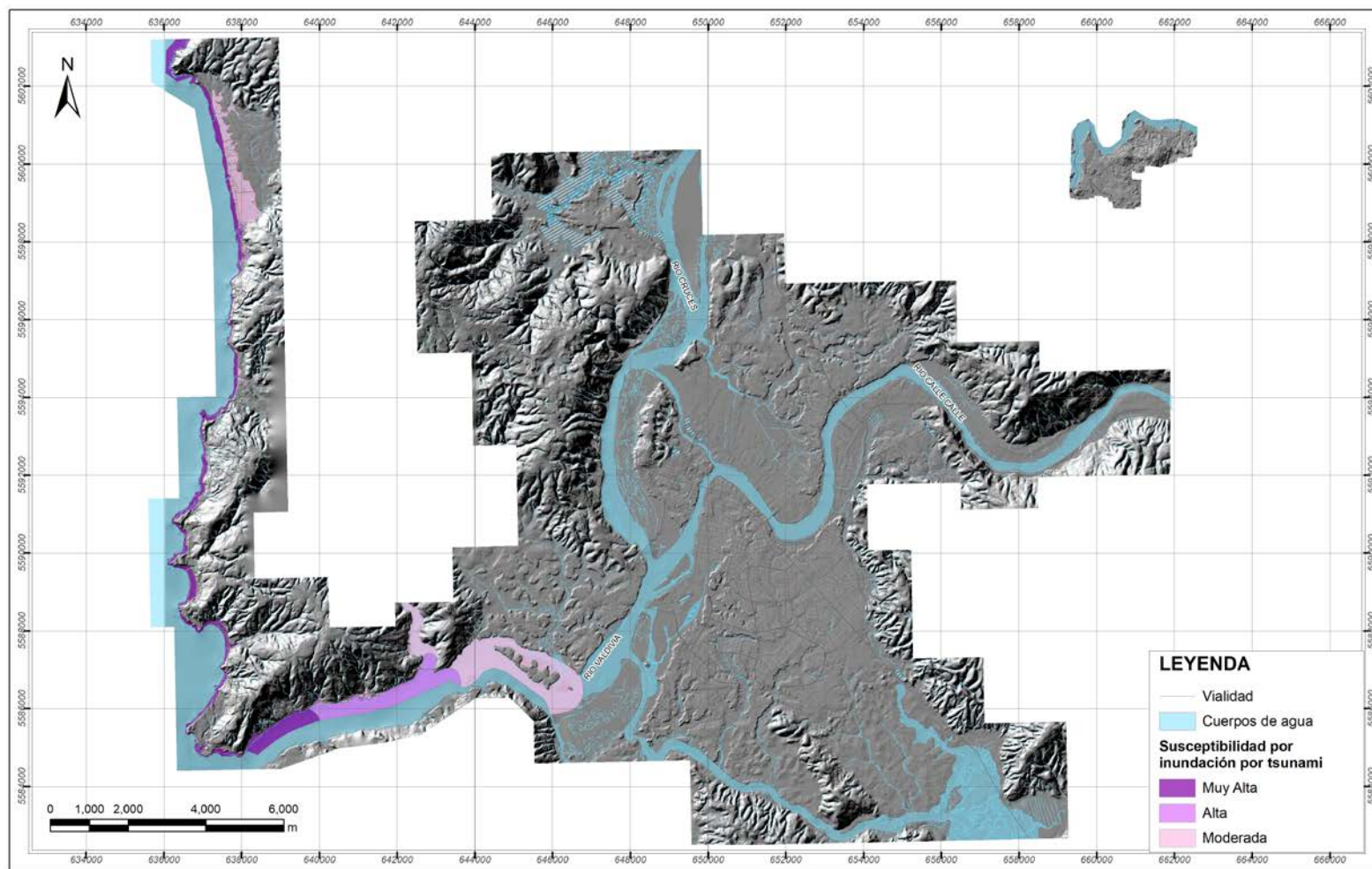
4.2. Asignación de niveles de susceptibilidad y mapas de amenaza

4.2.1. Inundaciones litorales

Se establecieron tres niveles de amenaza por inundaciones litorales de tipo tsunami, mediante la revisión de curvas de nivel y la información recopilada, cuyos criterios se describen a continuación:

- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a sectores donde existe CITSU con profundidad de inundación mayor a 2 m o a sectores de la costa y hasta alrededor de 3 km al interior del río Valdivia, ubicados a menos de 15 m s.n.m.
- Susceptibilidad Alta: corresponde a sectores donde existe CITSU con profundidad de inundación de 1 a 2 m o a sectores de la costa ubicados a menos de 20 m s.n.m o a sectores hasta alrededor de 7 km al interior del río Valdivia, ubicados a menos de 5 m s.n.m.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a sectores donde existe CITSU con profundidad de inundación de 0 a 1 m o a sectores de la costa ubicados a menos de 25 m s.n.m o a sectores hasta alrededor de 10 km al interior del río Valdivia, ubicados a menos de 5 m s.n.m.

Ilustración 4-2 Mapa de susceptibilidad por tsunami.



Fuente: Elaboración propia.

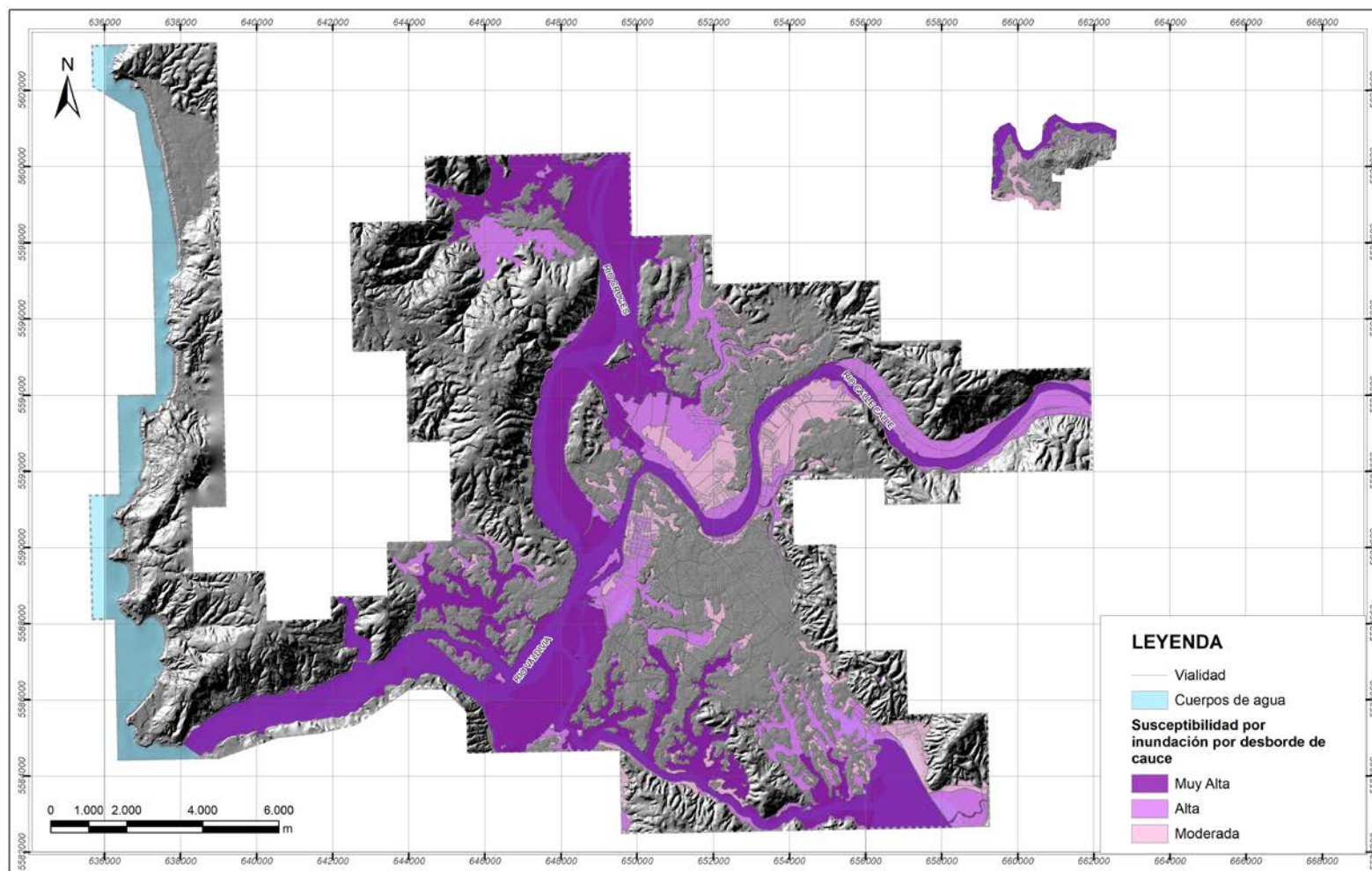
4.2.2. Inundaciones terrestres

a) Inundación por desborde de cauce

Se establecieron tres niveles de amenaza por inundaciones por desborde de cauce. Para definir estos niveles se utilizó 1) la geomorfología, de tal forma que la terraza fluvial al estar construida por depósitos fluviales recientes y antiguos, será cubierta por agua; 2) las elevaciones del REM relacionados a datos históricos de eventos de inundación de forma tal que, mientras más cerca del río en elevación, mayor nivel de susceptibilidad o 3) aquellos esteros activos que desembocan al océano y su relación con eventos de desbordamientos de cauce. Teniendo esto en cuenta, los niveles se describen a continuación:

- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a zonas donde la elevación es menor a 0,5 m respecto a los cauces principales o que están ubicadas en los cauces principales y se encuentran a una cota inferior a 2 m s. n. m.; o a zonas donde el agua escurre permanentemente; o aquellos esteros entre Niebla y Curiñanco que desembocan al océano y poseen registro de desborde de cauce.
- Susceptibilidad Alta: corresponde a zonas donde la elevación es menor a 2 m respecto a los cauces principales o secundarios; o a zonas caracterizadas como terrazas fluviales aledañas a los ríos Calle Calle y Cruces; o a aquellos esteros entre Niebla y Curiñanco que desembocan al océano pero que no poseen registro de desborde de cauce.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a zonas donde la elevación es menor a 5 m respecto a los cauces principales; o aquella área de terraza fluvial que no se haya considerado dentro de los niveles de susceptibilidad Muy Alta y Alta.

Ilustración 4-3 Mapa de susceptibilidad por inundación por desborde de cauce



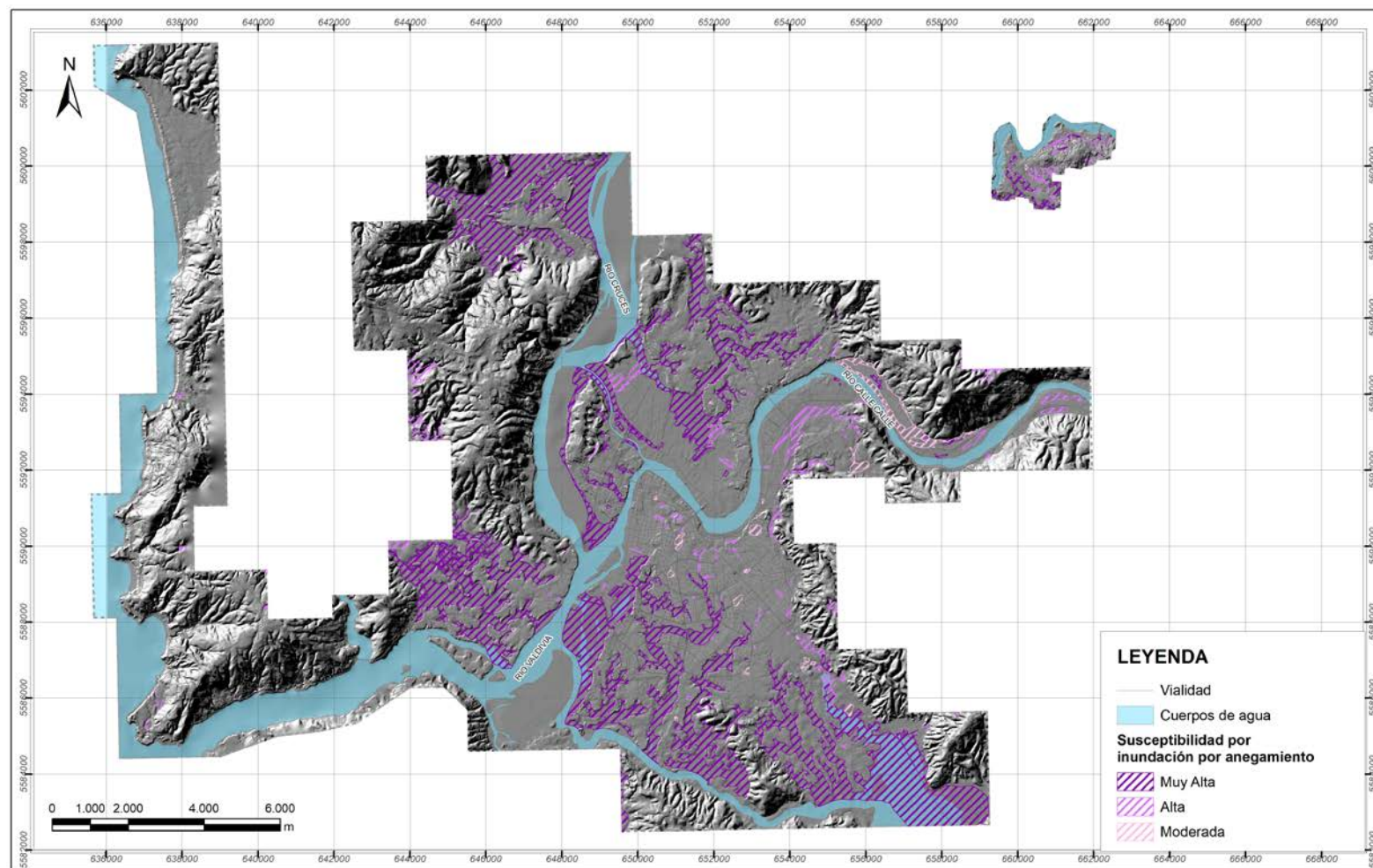
Fuente: Elaboración propia

b) Inundación por anegamiento

Se establecieron tres niveles de amenaza por inundación por anegamiento. Para definir estos niveles se utilizaron las imágenes históricas de Google Earth y el catastro. De esta manera, según la presencia actual, efímera o ausencia de agua en parte de las zonas identificadas se asigna el nivel de susceptibilidad.

- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a las zonas deprimidas identificadas y que se encuentran constantemente inundadas. También se asigna este nivel a los humedales reconocidos.
- Susceptibilidad Alta: corresponde a las zonas deprimidas identificadas y que poseen registro de inundaciones frecuentes, o a sectores viales que presentan un drenaje deficiente o registro de este tipo de eventos.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a las zonas deprimidas identificadas y que no poseen registro histórico de inundaciones.

Ilustración 4-4 Mapa de susceptibilidad por inundación por anegamiento



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Remociones en masa

a) Procesos de Ladera

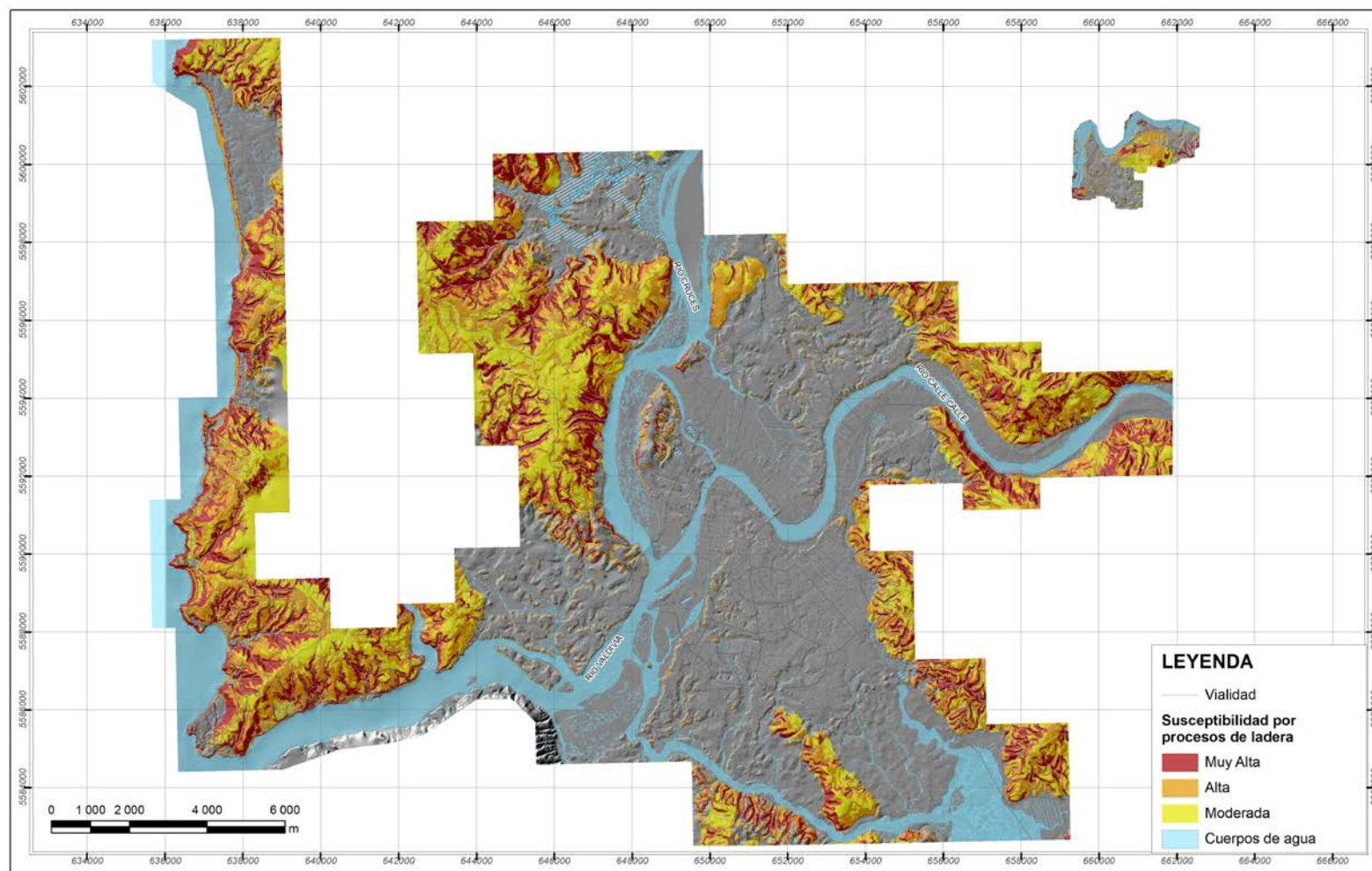
Se establecieron tres niveles de susceptibilidad por procesos de ladera. Para definir estos niveles se utilizó el resultado de la ponderación de las razones de frecuencia de las capas de pendiente, geología y uso de suelos que se muestran en la Tabla 4-3 de la sección 4.1.3.a) que se validaron mediante la concentración de eventos catastrados de procesos de ladera.

Se consideró como crítico para establecer los niveles de susceptibilidad moderada y muy alta, los valores de razón de frecuencia mínimos que tuvieran pendientes mayores a 15° y mayores a 25° respectivamente, y junto con ello el porcentaje de catastro contenido en el nivel de susceptibilidad alta y muy alta.

De esta forma, a mayor porcentaje de registro de eventos abarcados en una zona, mayor es el nivel de susceptibilidad: aproximadamente 58% de eventos catastrados en nivel de Susceptibilidad Muy Alta y un 40 % de eventos catastrados en nivel de Susceptibilidad Alta. De esta manera, en una escala de valores de razón de frecuencia que van de 0,27 a 13,5, los niveles de susceptibilidad fueron:

- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a las zonas con ponderación mayor a 6,33.
- Susceptibilidad Alta: corresponde a las zonas con ponderación mayor a 3,26.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a las zonas con ponderación mayor a 2,19.

Ilustración 4-5 Mapa de amenaza por procesos de ladera.



Fuente: Elaboración propia.

b) Flujos de barro y/o detritos

Para la asignación de niveles de amenaza se consideró el tamaño de la cuenca aportante a las quebradas. Este tamaño se midió usando como punto de salida el lugar donde ocurre la transición desde pendientes propias de las áreas de relieve montañoso a zonas planas (planicie litoral, terrazas aluviales, llanos de sedimentación fluvioestuarina y terrazas fluviales).

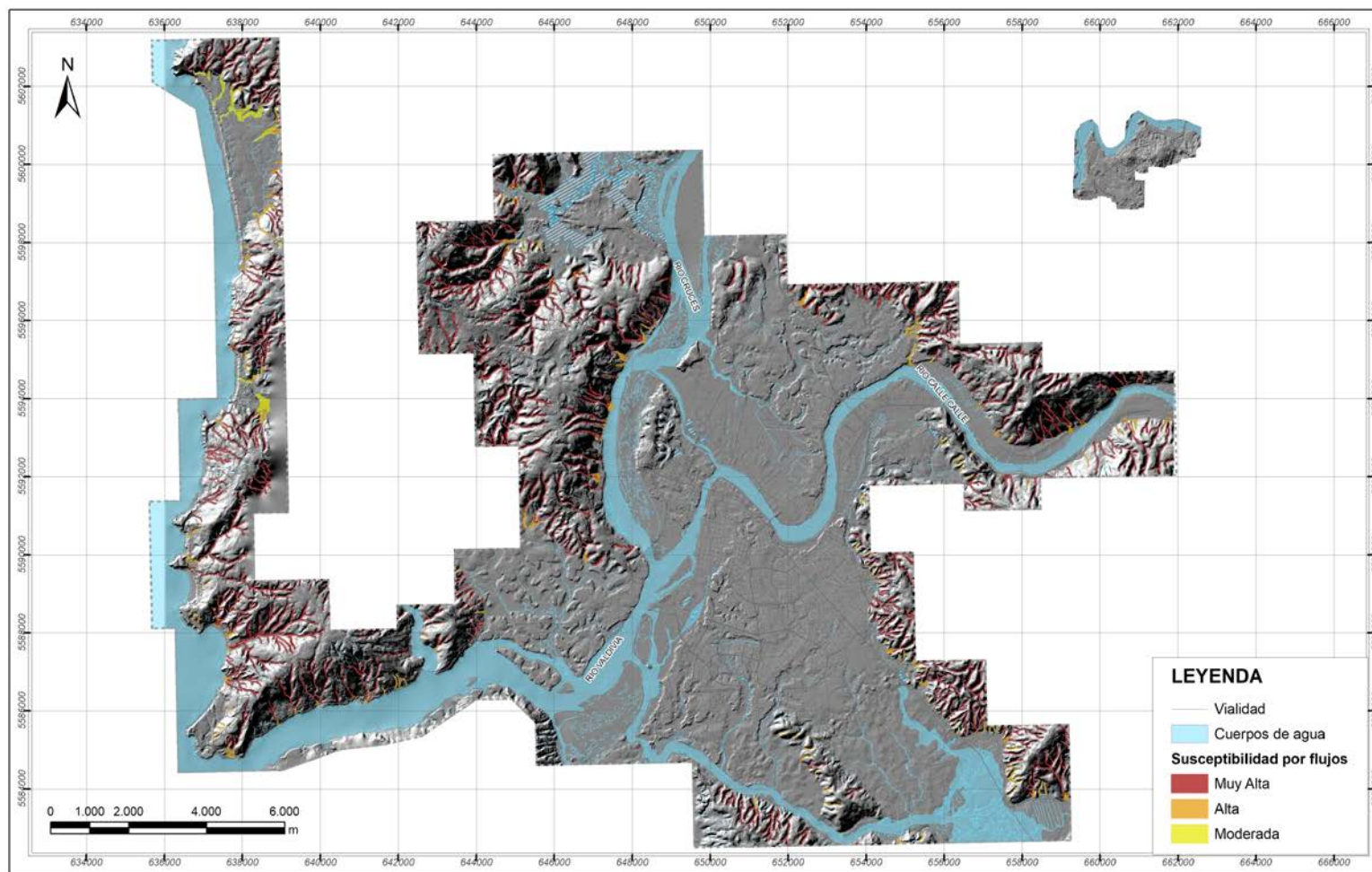
Considerando esto, a las quebradas cuya cuenca aportante en la zona montañoso es menor que 5 hectáreas se les asignó un nivel de susceptibilidad alta, mientras que a las quebradas con cuenca aportante mayor que 5 hectáreas se le asignó un nivel de susceptibilidad muy alta.

Adicionalmente, en aquellas quebradas con cuenca aportante mayor que 20 hectáreas se definió un término gradual de los niveles de amenaza, pasando a una zona de susceptibilidad alta y, en algunos casos, moderada (estos últimos solo en las planicies litorales). En las zonas con cuencas aportantes menores que 20 hectáreas, el área susceptible de flujos termina abruptamente en la zona de cambio de pendiente.

De esta forma, la definición de los niveles de susceptibilidad sigue los siguientes criterios:

- Susceptibilidad Muy Alta: Corresponde a los cauces de quebradas en zonas de relieve montañoso con cuencas aportantes mayores que 5 hectáreas.
- Susceptibilidad Alta: Corresponde a los cauces de quebradas en zonas de relieve montañoso con cuencas aportantes menores que 5 hectáreas. Se incluye también la parte de las quebradas con superficie aportante mayor que 20 hectáreas que se encuentran aguas abajo del cambio de pendiente, es decir, que están ubicadas en la planicie litoral, terrazas aluviales, llanos de sedimentación fluvioestuarina y terrazas fluviales.
- Susceptibilidad Moderada: Corresponde a la zona de baja pendiente de las quebradas mayores de 20 hectáreas que se encuentra en la planicie litoral, aguas abajo de la zona de amenaza alta.

Ilustración 4-6 Mapa de amenaza por flujos



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones y recomendaciones

Una vez identificadas las amenazas y definidos los grados de susceptibilidad y su alcance territorial, se deben incorporar los resultados en los instrumentos de planificación. Esto mediante la aplicación del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acorde a las atribuciones que otorgan la LGUC y la OGUC a los Instrumentos de Planificación Territorial como, por ejemplo, la diferenciación de usos de suelo y la regulación de la forma e intensidad de su ocupación.

5.1. Zonificación de la susceptibilidad

Para integrar las amenazas naturales en la planificación territorial, es necesario tener claro los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en la Tabla 5-1 se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad.

Tabla 5-1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y criterios de zonificación de la susceptibilidad.

Amenaza	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundación litoral	<ul style="list-style-type: none"> Características geomorfológicas 	<ul style="list-style-type: none"> Sismos 	<ul style="list-style-type: none"> Elevación CITSU
Inundación por desborde de cauce	<ul style="list-style-type: none"> Características geomorfológicas y red de drenaje (morfología, tipo de escorrentía) Presencia y características de terrazas fluviales 	<ul style="list-style-type: none"> Lluvias intensas Subsidencia 	<ul style="list-style-type: none"> Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce Observaciones de terreno Pendientes Relación de la distancia vertical entre los cauces de agua y las terrazas fluviales
Inundación por anegamiento	<ul style="list-style-type: none"> Características geomorfológicas (zonas deprimidas o con drenaje inadecuado) 	<ul style="list-style-type: none"> Lluvias intensas 	<ul style="list-style-type: none"> Catastro de eventos de inundación por anegamiento Observaciones de terreno Presencia de zonas inundadas

			permanentemente y húmedales <ul style="list-style-type: none"> • Características geomorfológicas (zonas deprimidas)
Procesos de ladera	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes • Material que compone la ladera (geología y usos de suelo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sismos • Lluvias intensas 	<ul style="list-style-type: none"> • Pendiente del terreno • Catastro de remociones en masa • Observaciones de terreno • Unidades geológicas • Uso de suelo
Flujos de barro y/o detritos	<ul style="list-style-type: none"> • Morfología de las quebradas y sus zonas de descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lluvias intensas 	<ul style="list-style-type: none"> • Catastro de remociones en masa • Observaciones de terreno • Características morfológicas de la red de drenaje
Sismicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de fallas activas 	<ul style="list-style-type: none"> • Sismos 	<ul style="list-style-type: none"> • No se zonificó
Volcanismo (caída de ceniza)	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia a los centros eruptivos • Morfología de la red hidrográfica • Dirección del viento 	<ul style="list-style-type: none"> • Erupciones 	<ul style="list-style-type: none"> • No se zonificó

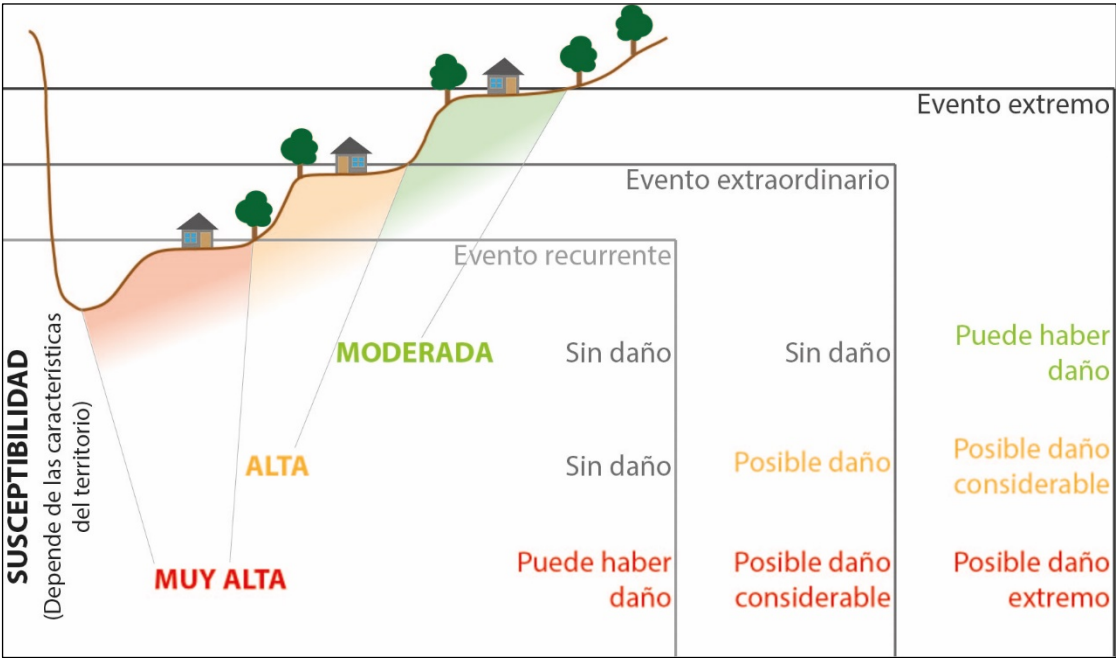
Fuente: Elaboración propia (2023).

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa. Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de ‘muy alta’ susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir cualquier evento de la amenaza analizada, las zonas de ‘alta’ susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de ‘moderada’ susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas.

Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, y al mismo tiempo, los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio, de la forma que se ejemplifica en la Ilustración 5-1 para el caso de las inundaciones por desborde de cauce. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Finalmente, es importante tener en consideración las variaciones climáticas que están ocurriendo, dado que estas podrían aumentar la generación de amenazas y su grado de afectación. En este estudio de riesgos, como se mencionó, los mapas de amenazas se construyen a partir del análisis de susceptibilidad y sobre escenarios conservadores que buscan justamente poder abarcar situaciones más extremas no observadas anteriormente en tiempos históricos y que pudieran ocurrir debido al cambio climático, aun cuando el nivel de incertidumbre es muy alto.

Ilustración 5-1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.



Fuente: Elaboración propia (2023).

5.2. Conclusiones y recomendaciones

La comuna de Valdivia se encuentra en una zona donde existen e interactúan varios ríos y el mar. Además, desde el terremoto de 1960, que generó una subsidencia generalizada, existen complejos sistemas de humedales. A su vez, está rodeada de cerros que conforman la Cordillera de la Costa y que, por sus características geológicas y climáticas, están formados por rocas muy meteorizadas y grandes capas de suelo, que generan laderas inestables. Por estas razones, Valdivia se encuentra expuesta a la ocurrencia de diversas amenazas en gran parte de su territorio. En este contexto, se proponen a continuación algunas recomendaciones generales para cada amenaza, con el fin de

gestionar el riesgo en la comuna. Para lograr lo anterior, y para conocimiento de la comunidad, es fundamental que se difundan los resultados de este estudio.

5.2.1. Inundaciones litorales

Debido al contexto geodinámico (subducción) en el cual está ubicado Valdivia, y como ya se ha reconocido en varias ocasiones anteriores, los tsunamis son procesos que han afectado y podrían seguir ocurriendo en el futuro.

Los antecedentes disponibles permiten determinar zonas que, en mayor o menor medida, se encuentran expuestas a la ocurrencia de tsunamis. Las alturas sobre el nivel del mar son una aproximación del alcance que este fenómeno pudiera tener y por esto fue el criterio utilizado para definir las zonas de susceptibilidad en este estudio.

Se recomienda no aumentar la exposición en las zonas de susceptibilidad muy alta y alta.

Es importante contar con instrumentos que permitan monitorear la posibilidad de tsunamis en la zona y con más estudios de detalle para establecer su posible extensión, dado que es un peligro que se puede advertir con tiempo y evacuar de ser necesario, siguiendo el plan de SENAPRED.

5.2.2. Inundaciones terrestres

a) Inundación por desborde de cauce

El factor más relevante en la definición de esta amenaza es la altura del terreno con respecto al cauce principal de los esteros y ríos. De este modo, las zonas más susceptibles se encuentran a lo largo del lecho del cauce y en las terrazas fluviales topográficamente más bajas.

Hay algunos sectores, como: Huellethue, Barrios Bajos y Sector Santo Domingo, que son ocupados principalmente por uso habitacional y que se encuentran en zona de susceptibilidad muy alta o alta. Se recomienda minimizar el uso de las áreas de susceptibilidad muy alta y alta. Esto quiere decir que aquellas áreas de susceptibilidad muy alta y alta que actualmente no se encuentren ocupadas se mantengan en la misma condición y aquellas que si lo están no incrementen su ocupación.

b) Inundación por anegamiento

En el territorio se reconoció la presencia de depresiones cerradas o potencialmente cerradas, sin drenaje natural, derivadas del análisis topográfico, y además zonas asociadas a humedales o zonas inundadas permanentemente. Estas zonas fueron definidas como áreas de susceptibilidad de inundación por anegamiento.

Se recomienda no ocupar las zonas con susceptibilidad muy alta, no aumentar la exposición en zonas de susceptibilidad alta y susceptibilidad moderada. Además, en zonas donde existen obras como colectores de aguas lluvias, se recomienda cuidar su mantención y mejorarlos ya que han mostrado su eficiencia para encauzar las aguas y evitar el anegamiento de las calles e infraestructura aledaña.

5.2.3. Remociones en masa

a) Procesos de ladera

En la zona se observa una gran cantidad de eventos de procesos de ladera. Los procesos que dominan en el área corresponden a deslizamientos de suelo, y en menor medida deformaciones de ladera y caídas de roca.

Considerando las características geomorfológicas, geológicas y climáticas del territorio, es muy probable que sigan ocurriendo estos eventos, que en general son superficiales, involucran poco volumen y poseen un alcance restringido a las laderas de cerros y sus cercanías, pero que en varias ocasiones han alcanzado zonas habitadas. Lo anterior es particularmente recurrente en las zonas más próximas al mar, donde la erosión marina puede acentuar estos procesos.

Se sugiere regular la urbanización en las zonas definidas con susceptibilidad alta y muy alta. Por una parte, para no aumentar la exposición de la población, y por otra, porque se ha visto que la misma intervención antrópica puede incrementar las condiciones de inestabilidad de las laderas, porque promueve la erosión al eliminar la vegetación, generar taludes de mayor ángulo y exponer rellenos de material suelto. En particular, se deben tomar medidas concretas para evitar el corte y relleno de taludes que pudieran favorecer la generación de remociones en masa. Y en zonas que ya estén ocupadas, se sugiere incorporar medidas de mitigación.

b) Flujos de barro y/o detritos

La zonificación de los flujos de barro y/o detritos se realizó en base a las características geomorfológicas del territorio.

A partir del catastro, diagnóstico y zonificación, los flujos de barro y/o detritos son un peligro que puede afectar todas las quebradas de los cerros. Sin embargo, no existe tanta evidencia de que estos procesos ocurran y su impacto, en principio, sería de baja magnitud y de extensión acotada a las mismas quebradas que las originan.

Se recomienda evitar la intervención antrópica en las quebradas asociadas a susceptibilidades muy alta y alta, ya que podría favorecer la erosión o el bloqueo de estas, modificando e incrementando las condiciones naturales que generan este peligro.

6. Bibliografía

Acuña, C., 2015. *Eventos de anegamientos en el sector urbano Barrios Bajos, Valdivia, Chile, 1985-2012.*, s.l.: s.n.

Aldunce, P. & González, M., 2009. *Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile*, Santiago, Chile: Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Alvarado, D. & Valdebenito, G., 2015. *Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia, Chile.*, s.l.: s.n.

Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J. & Villarroel, P., 2002. *Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.

Arenas, M. y otros, 2005. *Geología para el ordenamiento territorial: área de Valdivia, región de Los Lagos.*, s.l.: s.n.

Atwater, B. y otros, 2009. *Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawai y Japón*, s.l.: s.n.

Banco Interamericano de Desarrollo, 2015. *Valdivia Capital Sostenible Plan de Acción. Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES)*, s.l.: s.n.

Barozzi, R. & Lemke, R., 1966. *El suelo de fundación de Valdivia*, Santiago: s.n.

Barozzi, R. & Lemke, R., 1966. *El suelo de fundación de Valdivia*, Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Geológicas.

Bastías, C., 2019. *Influencia de los Procesos Geológicos en la Cosmovisión Mapuche, entre Concepción y Chiloé*, Santiago: s.n.

Bertin, L., Moreno, H. & Becerril, L., 2018. *Peligros del Campo Volcánico Carrán-Los Venados, escala 1:50.000*, Santiago: s.n.

CADE-IDEPE, Consultores en Ingeniería, 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Valdivia*, s.l.: s.n.

Carrasco, F. & Miralles, C., 2018. *Evaluación de factores geológicos relacionados con las emanaciones de gases en el sector de Isla Teja, comuna de Valdivia.*, s.l.: s.n.

Centeno, J., Fraile, M., Otero, M. & Pividal, A., 1994. *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental.* Madrid: Ed. Rueda.

Cisternas, M., 2005. Suelos enterrados revelan la prehistoria sísmica del centro-sur de Chile durante los últimos milenios. *Revista de Geografía Norte Grande*, Volumen 33, pp. 19-31.

Cisternas, M. y otros, 2005. Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, Volumen 437, pp. 404-407.

Cisternas, M. y otros, 2017. Exploring the Historical Earthquakes Preceding the Giant 1960 Chile Earthquake in a TimeDependent Seismogenic ZoneExploring the Historical Earthquakes Preceding the Giant 1960 Chile Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(6), pp. 2664-2675.

Cisternas, M. y otros, 2017. Unusual geologic evidence of coeval seismic shaking and tsunamis shows variability in earthquake size and recurrence in the area of the giant 1960 Chile earthquake. *Marine Geology*, Volumen 385, pp. 101-113.

Coloma, F. y otros, 2017. Geochemistry of Permian to Triassic igneous rocks from northern Chile (28°-30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. *Andean Geology*, Mayo, 44(2), pp. 147-178.

CONAF, 2017. *Cubierta del Catastro de los Recursos Vegetacionales y Usos de la Tierra región de Los Ríos ajuste gran escala*. [En línea] Available at: <https://sit.conaf.cl/> [Último acceso: Diciembre 2023].

Costa, J., 1984. Physical geomorphology of debris flows. In Developments and Applications of Geomorphology. En: J. E. Costa & P. J. Fleisher, edits. *Developments and Applications of Geomorphology*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 268-317.

Cruden, D. & Varnes, D., 1996. *Landslide types and processes*, Washington D.C.: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board.

DeMets, C., Gordon, R. & Argus, D., 2010. Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), pp. 1-80.

DeMets, C., Gordon, R., Argus, D. & Stein, S., 1994. Effects of recent revisions of the geomagnetic reversal time scale on estimates on current plate motion. *Geophysical Research Letters*, Volumen 21(20), pp. 2191-2194.

Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M., 2008. *Mapas de Peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.

Duhart, P. y otros, 2001. El Complejo Metamórfico Bahía Mansa en la cordillera de la Costa del centro-sur de Chile (39°30'-42°00'S): geocronología K-Ar, 40Ar/39Ar y U-Pb e implicancias en la evolución del margen sur-occidental de Gondwana. *Revista geológica de Chile*, 28(2), pp. 179-208.

Elgueta, S. & Mpodozis, C., 2012. *Evolución Tectono-Sedimentaria de la Cuenca del Río Cruces (Valdivia) durante el Neógeno*. Antofagasta, s.n., pp. 646-648.

Esaki, T., Thapa, P., Mitani, Y. & Ikemi, H., 2005. *Landslide and debris flow characteristics and hazard mapping in mountain hillslope terrain using GIS, Central Nepal*. Vancouver, En: Eberhardt, E., Hungr, O., Fell, R., Couture, E. (eds), Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management, p. 657-669..

Fuenzalida, H., 1967. Clima. En: *Geografía Económica de Chile*. s.l.:CORFO. Texto refundido., pp. 98-152.

Gil, J., 1945. *Charles Darwin, Viaje de un naturalista alrededor del mundo*. Buenos Aires: s.n.

Gonzalez de Vallejo, L., Ferre, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2002. *Ingeniería Geológica*. Segunda ed. Madrid: Pearson Educación.

González-Ferrán, O., 1995. *Volcanes de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.

Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T. & Mendis, P., 2016. An assessment of the effectiveness of tree-based models for multi-variate flood damage assessment in Australia. *Water*, v. 8(n. 282), pp. p. 1-18.

Hauser, A., 1985. Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista Geológica de Chile*, Volumen 25-26, pp. 125-133.

Hauser, A., 2000. *Remociones en masa en Chile*. 2da ed. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.

INH, 2003. *Recopilación y análisis de antecedentes para fijar deslindes de los bienes nacionales de uso público de constituye el cauce del río Valdivia*, Santiago, Chile: MOP-DOH.

JTC-1, 2008. Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), pp. 85-98.

Keefer, D., 1984. Landslides cuased by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), pp. 406-421.

Keller, E. & Blodgett, R., 2004. *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.

Köppen, W., 1948. *Climatología: Con un estudio de los climas de la Tierra*. s.l.:Fondo de Cultura Económica.

Kreibich, H. y otros, 2009. Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling?. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Issue n. 9, pp. p. 1679-1692.

Lomnitz, C., 1970. Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geologische Rundschau*, Volumen 59, pp. 938-960.

Maldonado, V., 2020. *Fallas corticales activas en Chile: inferencias de amenaza sísmica a partir de la interpretación de expresión superficial a escala 1:25.000*, Valdivia: s.n.

Maldonado, V., 2020. *Fallas corticales activas en Chile: inferencias de amenaza sísmica a partir de la interpretación de su expresión superficial a escala 1:25.000*, Valdivia: s.n.

Maldonado, V., Contreras, M. & Melnick, D., 2021. A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1: 25,000 scale. *Scientific Data*, 8(20).

Martin, G. & Lew, M., 1999. *Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117: Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California*. Los Angeles: Southern California Earthquake Center, University of Southern California, 63 pág.

Mella B., M. y otros, 2012. *Geología del área Valdivia-Corral, Región de Los Ríos*, Santiago: s.n.

Mella, M. y otros, 2012. *Geología del Área Valdivia-Corral, Región de Los Ríos*, Santiago: s.n.

Merz, B., Kreibich, H. & Lall, U., 2013. Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data mining approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Volumen v. 13, pp. p. 53-64.

MINVU, 2024. *Circular DDU - MINVU N°510*, Santiago: s.n.

Moreno, H., 2000. *Mapa de peligros del volcán Villarrica, escala 1:75.000*, Santiago: s.n.

Moreno, H., 2017. *Peligros del volcán Quetrupillán, escala 1:50.000*, Santiago: s.n.

Moreno, H. & Naranjo, J., 2006. *Peligros del Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco, escala 1:50.000*, Santiago: s.n.

Mpodozis, C. & Ramos, V. A., 1989. *The Andes of Chile and Argentina In: Erickson, G. E.; Cañas, M. T.; Reinemund, J. A. (eds) Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Energy Resources. Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, American Association of Pet.* 11 ed. Houston, Texas: Earth Science Series.

Myers, B. & Brantley, S., 1995. *Hazardous phenomena at volcanoes*, Vancouver, Washington.: USGS Open File Report, pág. 95-231.

Naranjo, J. & Varela, J., 1996. *Debris and mud flows that affected the eastern area of Santiago on May 3, 1993*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 pág.

Oliveros, V. y otros, 2020. Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*, pp. 202-227.

Olson, P. y otros, 2014. *A methodology for delineating planning-level channel migration zones (No. 14-06-025)*., Washington (State): s.n.

ONEMI, 1997. *Informe consolidado preliminar temporales junio 1997*, Santiago, Chile: Oficina Nacional de Emergencia.

ONEMI, 2005. *Informe consolidado sistemas frontales sucesivos 10 de mayo - 15 de julio 2015*, Santiago: Oficina Nacional de Emergencia - Departamento de Protección Civil.

ONEMI, 2008. *Informe sistema forntal 24 de agosto al 1 de septiembre de 2008*, Santiago, Chile: Oficina Nacional de Emergencia - División de Protección Civil.

ONU/EIRD, 2004. *Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004*, Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

Páez, D., Feuker, P., Troncoso V, R. & Pérez, Y., 2014. *Hidrogeología de la cuenca del Río Valdivia, Regiones de Los Ríos y Araucanía*, Santiago: s.n.

Páez, D., Feuker, P., Troncoso, R. & Pérez, Y., 2014. *Hidrogeología de la cuenca del río Valdivia, Regiones de Los Ríos y La Araucanía*, Santiago: s.n.

Páez, D., Feuker, P., Troncoso, R. & Pérez, Y., 2014. *Hidrogeología de la cuenca del río Valdivia. Regiones de Los Ríos y La Araucanía. Escala 1:200.000.*, Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Pain, C., 1986. *Scarp Retreat and Slope Development Near Picton, New South Wales, Australia.*. Braunschewig: s.n.

Palacios, A., 2016. *Fuentes para la Historia Sísmica de Chile (1570-1906)*. Santiago: Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.

Palape, C., 2020. *Estructura y metamorfismo del Complejo Metamórfico Bahía Mansa y de la Unidad Metabasitas de Estaquilla, Cordillera de la Costa de Chile central sur (41,1-41,6°S; 73,6-73,8°W)*, Santiago: s.n.

Paskoff, R., 2010. Geomorfología costera. En: *Geología Marina de Chile*. s.l.:s.n., pp. 76-83.

Pastén, C. y otros, 2021. The Role of site conditions on the structural damage in the city of Valdivia during the 22 may 1960 Mw 9.5 megathrust Chile earthquake. *Seismological Research letters*, 92(6), pp. 3437-3451.

Petit-Breuilh, M. E., 2004. *Desastres naturales y ocupación del territorio en Hispanoamérica (siglos XVI al XX)*. s.l.:Universidad de Huelva.

Pierson, T. & Scott, K., 1985. Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), pp. 1511-1524.

PMA-GCA, 2007. *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p..

RNVV-Sernageomin, 2020. *Ranking de Riesgo Específico de Volcanes Activos de Chile*. [En línea] Available at: <https://rnvv.sernageomin.cl/que-es-ranking-de-riesgo/> [Último acceso: Junio 2022].

Ruiz, S. & Madariaga, R., 2018. Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile. *Tectonophysics*, Volumen 733, pp. 37-56.

Sancho, C., 1997. Los mapas de riesgos. En: J. Peña, ed. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Zaragoza: Geomorfa, pp. 181-200.

Scholz, C., 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.

Segovia, M. J., Diaz, D., Slezak, K. & Zuñiga, F., 2021. Magnetotelluric study in the Los Lagos Region (Chile) to investigate volcano-tectonic processes in the Southern Andes. *Earth, Planets and Space*, 73(2), pp. 1-14.

Sepúlveda, S., Murphy, W., Jibson, R. & Petley, D., 2005. Seismically-induced Rock Slope Failures Resulting from Topographic Amplification of Strong Ground Motions: The Case of Pacoima Canyon, California.. *Engineering Geology*, Volumen 80, pp. 336-348.

Sepúlveda, S. y otros, 2010. Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia.. *Landslides*, pp. doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.

SERNAGEOMIN, 1998. *Estudio geológico-económico de la X Región norte, Chile.*, Santiago: s.n.

SERNAGEOMIN-GORE Los Ríos, 2023. *Zonificación de áreas expuestas a peligros de remoción en masa en la región de Los Ríos.*, s.l.: s.n.

Servicio geológico colombiano, 2017. *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000.*, Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

SHOA, 2000. *El maremoto del 22 de Mayo de 1960 en las Costas de Chile*, Valparaíso: s.n.

Silalahi, F. E. S., Yukni Arifianti, P. & Hidayat, F., 2019. Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia. *Geoscience Letters*, 6(1), p. 10.

Somoza, R., 1998. Updated Nazca (Farallon)- South America relative motions during the last 40 My: implication for mountain building in the central Andean region.. *Journal of South American Earth Sciences*, Issue 11, pp. 211-215.

Sruoga, P., 2002. *El volcanismo reciente y riesgo asociado en la Provincia de Mendoza*, Mendoza: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales, pág. 255-259.

SUBDERE, 2011. *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*, Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.

SUBDERE, 2014. *Desarrollo Urbano y el Cambio Climático. Huella urbana e histórica, escenarios de crecimiento urbano y estudios básicos sobre mitigación y adaptación al cambio climático en Valdivia. Tarea 2.*, s.l.: s.n.

Tolosa, V., Jorquera, C., Mella, M. & Gho, R., 2020. *Peligros del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, escala 1:75.000*, Santiago: s.n.

Urrutia, R. & Lanza, C., 1993. *Catástrofes de Chile 1542-1992*. s.l.:s.n.

USGS, 2008. *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*, Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p..

Varnes, D., 1978. *Slope movement types and processes*, Washington, D.C.: Special report 17VI: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board.

Varnes, D., 1984. Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO. *Natural Hazards*, Volumen 3, pp. 1-61.

7. Apéndices

7.1. Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio

Los procesos geodinámicos producen modificaciones de diversas magnitudes en la superficie terrestre que constituyen peligros geológicos que afectan de forma directa o indirecta las actividades humanas. Se entiende como **Peligro Natural** a cualquier fenómeno de origen natural que puede tener efectos negativos en el territorio (personas, infraestructura, medio ambiente, etc.). Los peligros naturales pueden subdividirse en distintas categorías: geológicos, hidrológicos, climáticos, incendios, etc.

Asociados a los peligros naturales se reconocen cuatro conceptos principales: **susceptibilidad**, **vulnerabilidad**, **amenaza** o peligrosidad (hazard) y **riesgo** (risk).

La **susceptibilidad** corresponde a una estimación cualitativa o cuantitativa de la distribución espacial de un fenómeno dado que existe o que potencialmente podría ocurrir en un área. Aunque se espera que un cierto fenómeno peligroso ocurra con mayor frecuencia en las áreas de mayor susceptibilidad, debe tenerse en cuenta que el análisis de susceptibilidad no considera el período de retorno de los eventos, es decir, el factor tiempo (JTC-1, 2008). La susceptibilidad depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, como la geomorfología o factores intrínsecos de los materiales geológicos, y de factores externos que pueden actuar como desencadenantes (por ejemplo, precipitaciones intensas, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de catastro, en los que se identifican las áreas que han sido afectadas por determinados procesos, y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de estos procesos. Además, los mapas de susceptibilidad apuntan a cubrir el peor escenario posible en el área de estudio.

El concepto de **amenaza** o **peligrosidad** (hazard*) corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un proceso, con una magnitud determinada dentro de cierto período de tiempo y en un área específica (Varnes, 1984). La estimación de la amenaza o peligrosidad implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el período de recurrencia de un evento (período de retorno). Por otro lado, la amenaza para períodos de retorno infinitos tiende a ser similar que la susceptibilidad. Por lo anterior, cuando no se cuenta con datos suficientes para estimar períodos de retorno, resultan útiles los mapas de susceptibilidad, que consideran solo las variables intrínsecas del material para la zonificación de peligros geológicos.

Los **elementos expuestos** pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

* La traducción literal corresponde a peligro, pero de acuerdo a la ONEMI y al proyecto Multinacional de Geociencias Andino (MAP-GAC) para evitar confusiones se utiliza Amenaza o Peligrosidad

La **vulnerabilidad** corresponde al grado de pérdidas o daños potenciales de un elemento o conjunto de elementos dados, como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de magnitud determinada. Se expresa en una escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños (Varnes, 1984; Gonzalez de Vallejo, et al., 2002; JTC-1, 2008).

Por otro lado, el concepto de **riesgo** (risk) incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las potenciales pérdidas debidas a un fenómeno natural determinado, por ejemplo, vidas humanas, pérdidas económicas directas o indirectas, daños en infraestructura, etc. (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

Según Varnes (1984), se denomina riesgo específico al grado de pérdidas esperado durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso, expresado en términos de probabilidad. Puede ser expresado como el producto $A \times V$, donde A corresponde a la amenaza y V a la vulnerabilidad. En este caso no es posible obtener una evaluación cuantitativa de las pérdidas (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

De acuerdo a las definiciones de la UNESCO (Varnes, 1984) el riesgo total corresponde al número esperado de vidas, personas heridas, daños a la propiedad, o a las actividades económicas debido a un fenómeno natural específico y se expresa como el producto del riesgo específico y los elementos expuestos, esto es:

$$R_t = R_e \times E = A \times V \times E$$

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La Ilustración 7-1 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

La definición de riesgo, o áreas de riesgo, utilizadas internacionalmente difieren a la nomenclatura propuesta por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 2.1.17. En la OGUC, el concepto utilizado de riesgo corresponde a la definición de “Peligro Natural” definida internacionalmente.

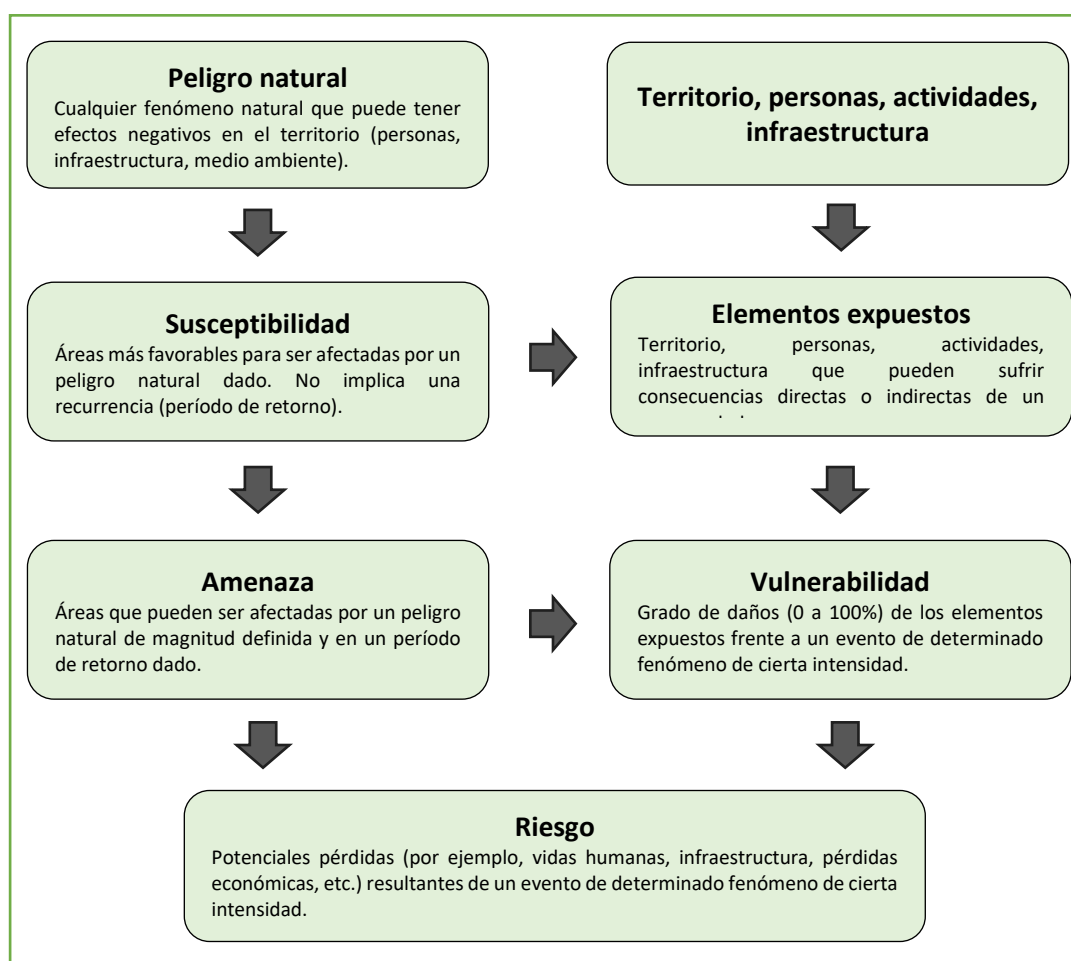
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que para un estudio probabilístico es necesario contar con set de datos históricos de los procesos desencadenantes, los que normalmente no se encuentran registrados de manera adecuada, y que para períodos de retornos infinitos los mapas de amenaza tienden a ser similares a los mapas susceptibilidad, se considera que los mapas de susceptibilidad corresponden al escenario más conservador y adecuado para ser aplicado en la Planificación Territorial.

Finalmente, la reducción y mitigación de los riesgos vinculados a los diversos peligros geológicos presenta igual o mayor importancia que el manejo de las emergencias y la respuesta posterior al evento catastrófico. El desarrollo sustentable de la urbanización está directamente asociado a la reducción y mitigación de estos riesgos. La generación de conciencia a partir del conocimiento de los peligros y riesgos geológicos es fundamental para reducir y mitigar las consecuencias de estos eventos sobre la población (ONU/EIRD, 2004).

Es importante destacar que las definiciones previamente presentadas corresponden a una terminología aceptada y utilizada a nivel internacional, tanto en el ámbito científico (ver por ejemplo JTC-1, (2008)) como en instituciones públicas de diversos países. Estas definiciones son usadas por la Estrategia Internacional para la reducción de Desastres de la ONU (ONU/EIRD, 2004), por UNESCO (ver por ejemplo Varnes, (1984)) y por los servicios geológicos de diversos países (ver por ejemplo USGS, (2008) y PMA-GCA (2007)). A nivel nacional, estas definiciones han sido adoptadas por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo en la “Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial” (SUBDERE, 2011) y por el Servicio Nacional de Geología y Minería (ver por ejemplo PMA-GCA (2007)).

Se recomienda incorporar esta terminología en el ejercicio de los instrumentos de planificación territorial, lo que permitirá que exista concordancia en la terminología y las metodologías adoptadas, tanto a nivel nacional, entre los diferentes servicios públicos relacionados, como a nivel internacional.

Ilustración 7-1 Etapas de evaluación de un evento geológico peligroso.



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984).

7.2. Descripción de los peligros geológicos analizados

En este capítulo se detallan los peligros geológicos que potencialmente podrían afectar o han afectado al área de estudio, constituyendo un riesgo de catástrofe permanente o potencial, amenazando el emplazamiento de población.

Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los procesos externos o exógenos (remociones en masa, inundaciones).

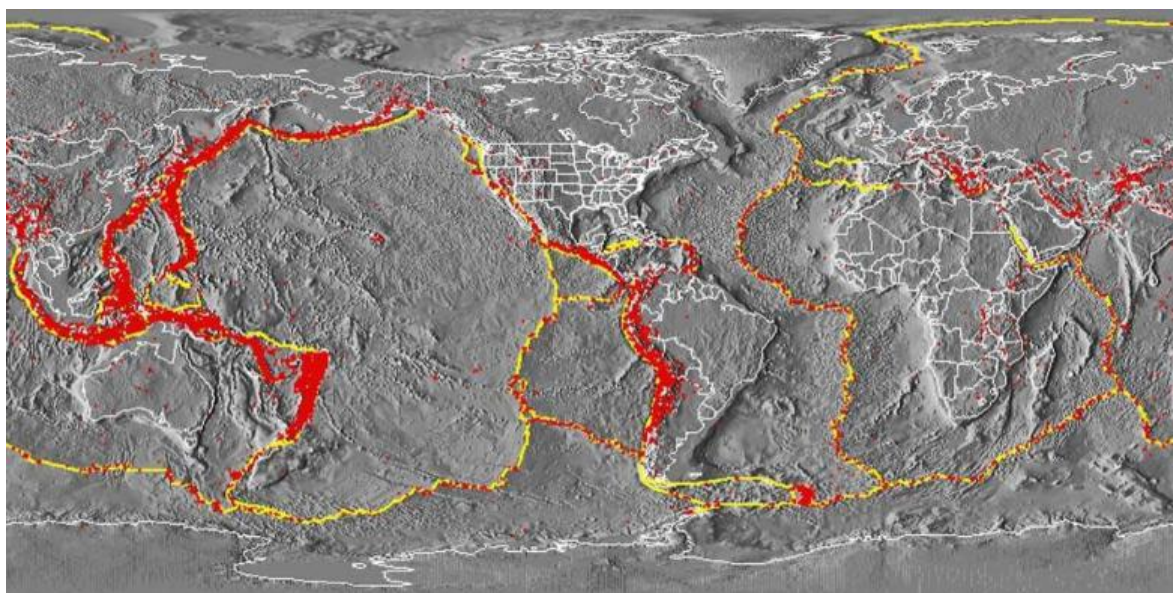
7.2.1. Procesos internos o endógenos de la Tierra

a) Sismicidad

i Tipos de sismos en Chile

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca. En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La Ilustración 7-2 refleja la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra, además, cómo Chile se encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

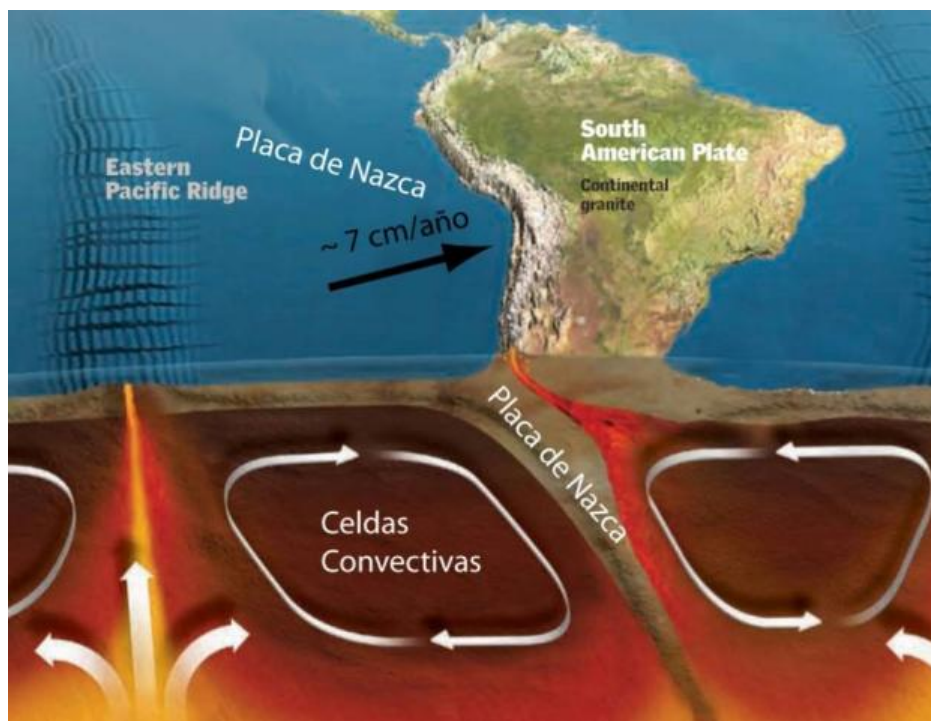
Ilustración 7-2 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud mayor que 5. Nótese cómo la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo.



Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, et al., 1994). Una serie de fuerzas actúan sobre la Placa de Nazca, como por ejemplo el flujo convectivo de material del manto, que “mueve” a la placa en dirección al este generando la convergencia, o el mismo peso de la placa oceánica que “tira hacia abajo” esta placa, favoreciendo la subducción (Ilustración 7-3). Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interface entre ambas placas, así como las de interacción entre las placas y el manto generan el llamado acoplamiento sísmico interplaca, el que puede entenderse como la resistencia al deslizamiento en la zona de contacto entre ambas. A mayor acoplamiento interplaca la capacidad de generar terremotos de gran magnitud aumenta (Scholz, 1990).

Ilustración 7-3 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile.



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

El sistema de subducción, además de acumular energía que se libera por sismos de interplaca, genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas. El método para descargar la energía acumulada es a través de diferentes tipos de sismos, ejemplificados en la Ilustración 7-4, que corresponde a:

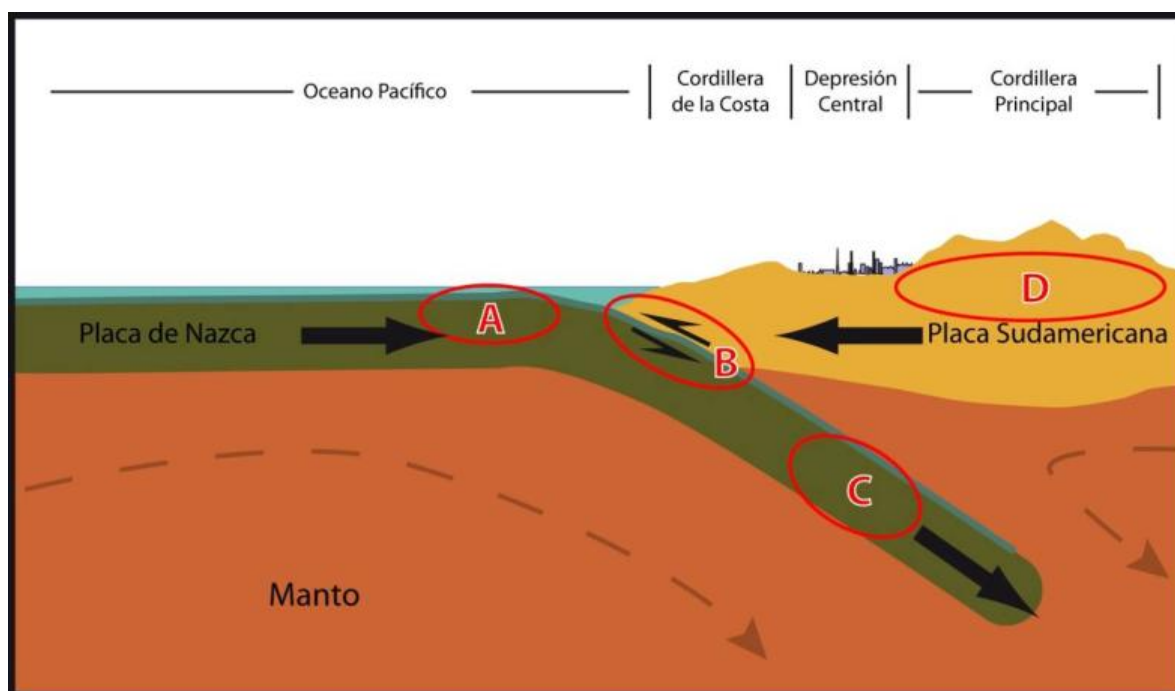
Zona A: Sismos “Costa afuera”, que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.

Zona B: Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.

Zona C: Sismos intraplaca de profundidad intermedia, como los sismos de Punitaqui 1997, Copiapó 2002, Calama 1950, Tarapacá 2005 y Chillán 1939. Se producen por el fracturamiento tensional de la placa de Nazca (la placa se quiebra por su propio peso).

Zona D: Sismos superficiales intraplaca, como los sismos de Las Melosas en 1958, Aroma en 2001, Curicó en 2004 y Aysén, 2007. Son producto del esfuerzo intraplaca inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve. En general, los sismos superficiales intraplaca se encuentran asociados a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

Ilustración 7-4 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto).



Fuente: Elaboración propia (2021)

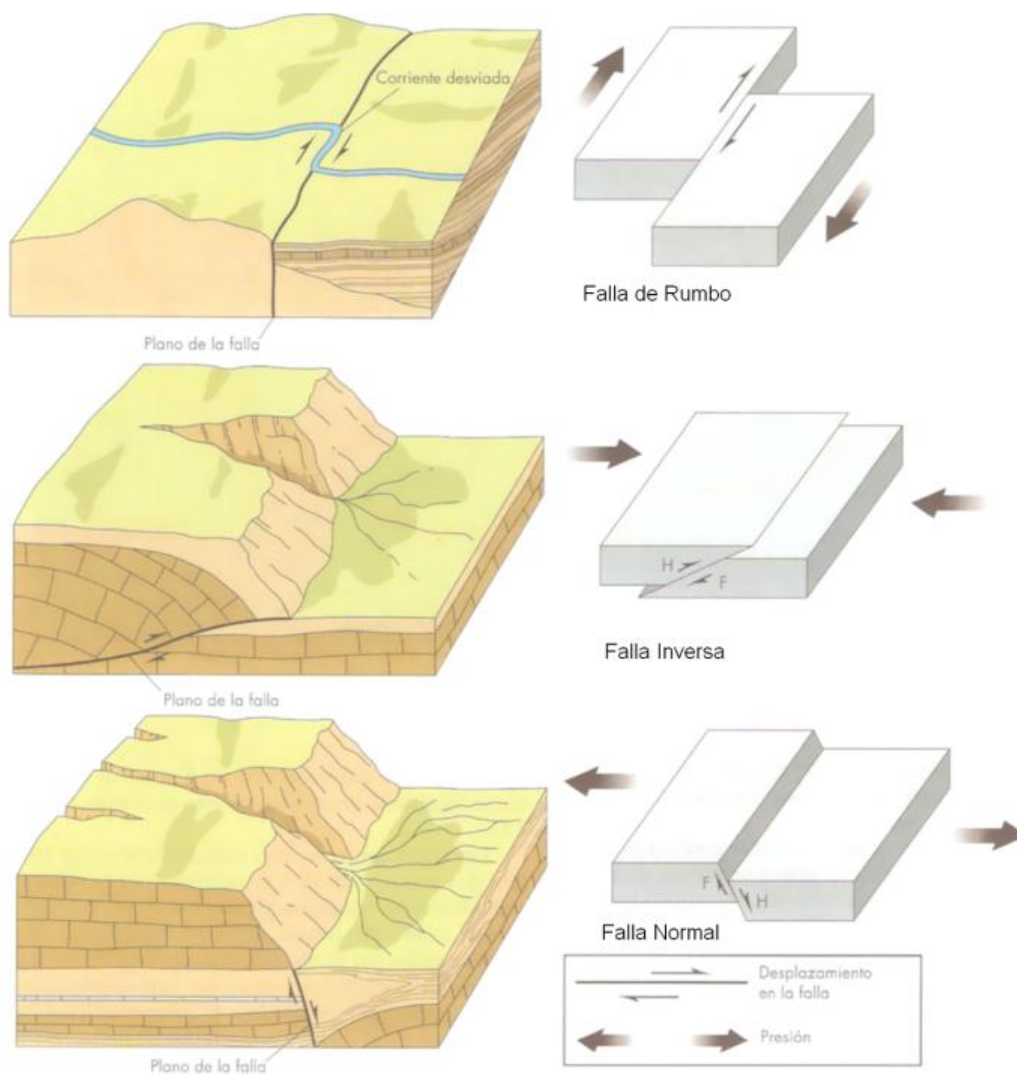
ii Mecanismos de daños asociados a los sismos

Independientemente de la ubicación particular de uno u otro sismo, todos ellos corresponden a un desplazamiento violento paralelo al plano de falla que libera la energía acumulada en la interfaz. La energía que se acumula producto de la convergencia de placas, tanto en el contacto interplaca como en la corteza, en algún momento supera la resistencia de las rocas. En dicho instante se produce una ruptura que se propaga a través de un plano de falla, el que, de acuerdo con su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (Ilustración 7-5). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

Las ondas que transmiten la energía sísmica se agrupan en dos tipos principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las primeras se dividen en ondas P (compresivas) y ondas S (ondas de corte o de cizalle), mientras que las segundas se dividen en ondas Rayleigh y Love (Ilustración 7-6). En las ondas P el movimiento de partículas se produce en forma paralela al de la propagación de la onda y en las ondas S es en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh tienen un movimiento oscilatorio elíptico y las ondas Love tienen un movimiento oscilatorio horizontal. Con respecto a su impacto en superficie, debido a que las ondas S transportan la mayor cantidad de energía y a que las ondas superficiales tienden a tener movimientos de mayor frecuencia, ambos tipos corresponden a los de carácter más destructivo del movimiento sísmico. Aun así, a medida que las ondas se alejan de la fuente van perdiendo o disipando energía, siendo cada vez menos destructivas, fenómeno que se conoce como atenuación.

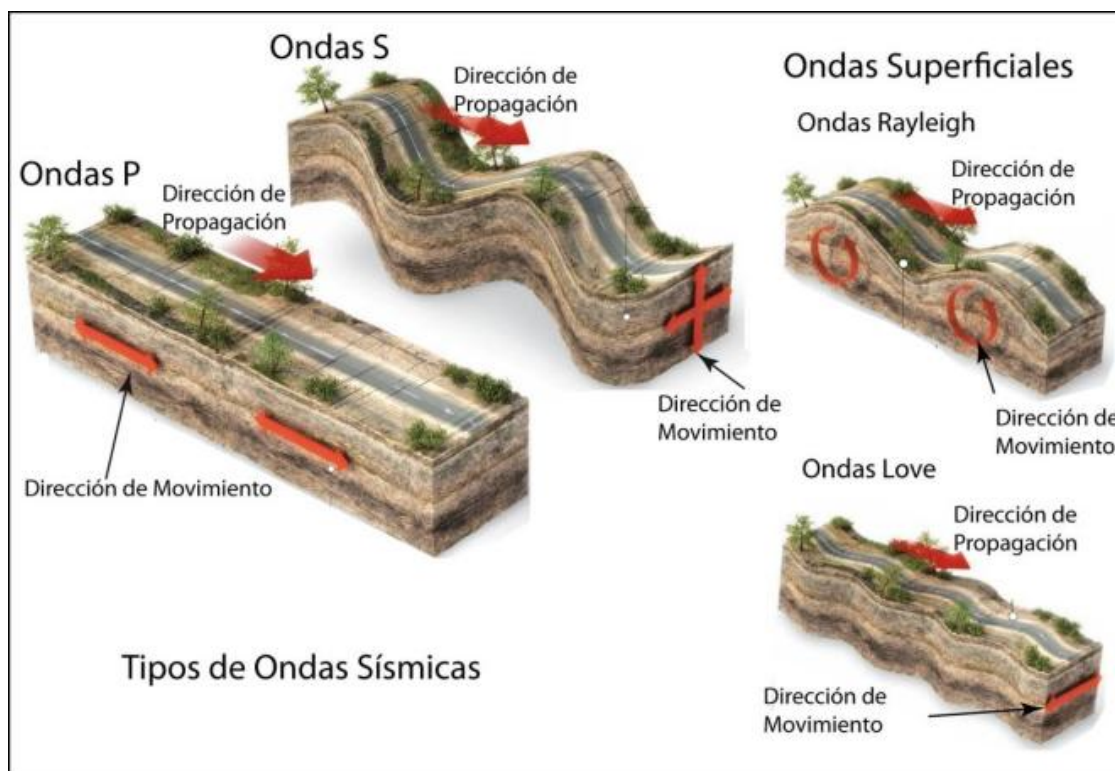
Para medir los sismos se utilizan, principalmente, dos escalas: *magnitud* e *intensidad*. La *magnitud* es una medida única y objetiva, que normalmente se relaciona con la escala de RICHTER (M_s). Actualmente para grandes sismos se utiliza la escala de magnitud de momento (M_w) que se calcula a partir del tamaño de la zona de ruptura y el desplazamiento medido para un sismo ocurrido, y da cuenta de la energía total liberada por el evento. La *intensidad* es una medida subjetiva del impacto de un sismo sobre la población, en términos de percepción humana del evento y sus efectos en la infraestructura. Este parámetro se mide en la escala de MERCALLI-CANCANI, denominada también como Modificada de Mercalli (M.M.).

Ilustración 7-5 Tipos de falla y esfuerzos asociados.



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

Ilustración 7-6 Tipos de ondas sísmicas.

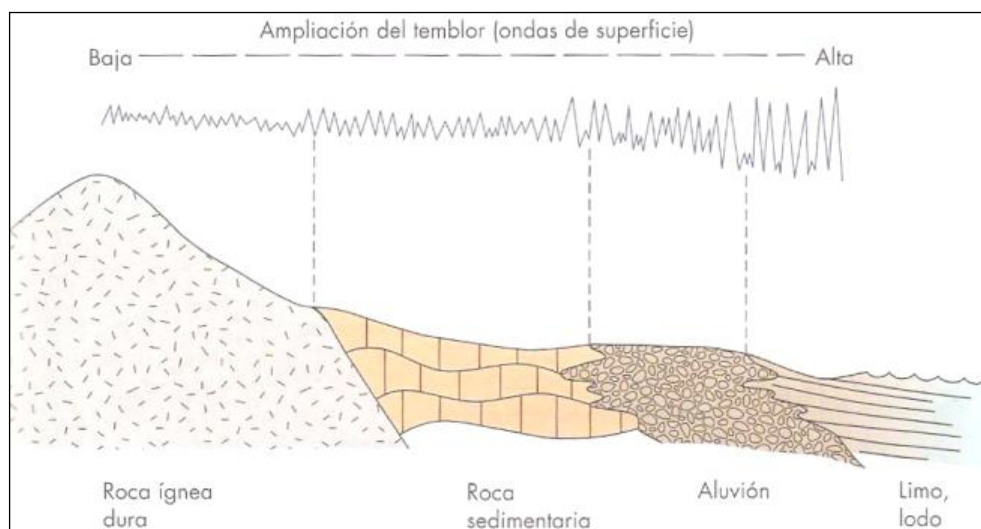


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

Finalmente, debe destacarse el llamado “efecto sitio”, que indica un condicionamiento de carácter local bajo el cual para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde uno se encuentra ubicado, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto (Ilustración 7-7).

El principal efecto asociado a la ocurrencia de sismos son fuertes movimientos del terreno, que originan un peligro directo sobre las estructuras y sobre las personas, debido a las fuertes aceleraciones generadas por las ondas sísmicas. Sumado a lo anterior, la ocurrencia de estos fenómenos es generalmente sin previo aviso, por lo que la única manera de mitigar el riesgo es con campañas de educación y estrictas normas de construcción. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías. Esto implica en una alta vulnerabilidad estructural, económica y social. Particularmente con respecto a esta última se deben mencionar las potenciales pérdidas de vidas humanas y heridos por el derrumbe de estructuras, además de la vulnerabilidad a enfermedades gastrointestinales y epidemias por el colapso de los sistemas sanitarios y de conectividad, entre los innumerables efectos adversos para la sociedad que provocan este tipo de fenómenos.

Ilustración 7-7 Amplificación de la vibración generada por un terremoto.



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

Más allá de los efectos directos mencionados anteriormente, los sismos pueden también inducir la ocurrencia de otros fenómenos, como es el caso de procesos de remoción en masa (caídas de bloques y deslizamientos), maremotos y licuefacción.

Los deslizamientos y derrumbes se dan en diversos tipos de suelos y bajo variadas condiciones sismotectónicas, incluso se han detectado en sismos de grado $M_w = 4.0$. La cantidad y severidad de estos están en directa relación con la cercanía al epicentro y la magnitud del evento causante (Keefer, 1984; Sepúlveda, et al., 2005; Sepúlveda, et al., 2010). Sea cual sea su origen, los deslizamientos y derrumbes están asociados principalmente a tres factores: las pendientes del terreno, la resistencia mecánica de los materiales involucrados y antecedentes de eventos anteriores (Centeno, et al., 1994; Sancho, 1997).

Los maremotos o tsunamis corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua y en aproximadamente un 90% de los casos, estos fenómenos son provocados por terremotos. La energía de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad, y estará asociada a la magnitud del evento que lo generó.

Otro proceso que se asocia comúnmente a la actividad sísmica es la licuefacción del terreno, que corresponde al fenómeno donde un material sólido saturado en agua se comporta como líquido a causa de la intensa vibración. Las ondas sísmicas hacen aumentar la presión de agua presente en el sedimento, de forma que los granos de arena o limo pierden el contacto entre ellos causando una pérdida de resistencia del sólido y permitiendo que el depósito pueda fluir. Bajo estas condiciones, el suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías.

Para la ocurrencia de licuefacción se requiere de tres factores (Martin & Lew, 1999):

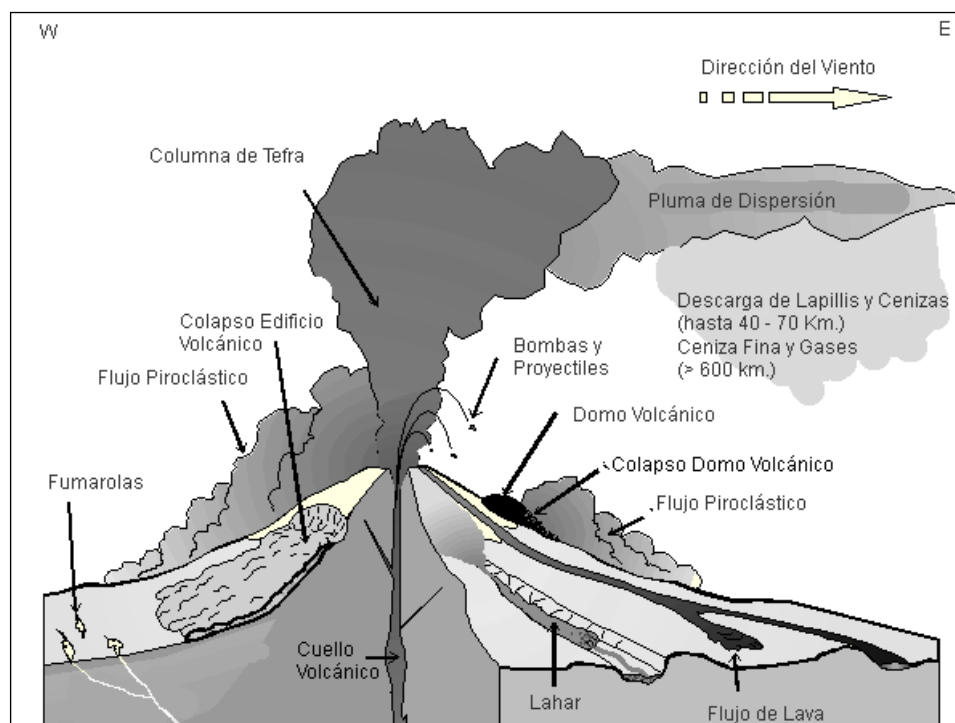
- Depósitos o suelos, granulares poco consolidados (suelos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales, especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (ej. puertos y tranques de relaves), depósitos eólicos (dunas), depósitos de playas o de cursos de agua lo suficientemente jóvenes para estar sueltos. Los suelos con partículas de diferentes tamaños son menos propensos a sufrir licuefacción, debido a que las partículas menores tienden a rellenar los espacios entre las mayores, reduciendo así la tendencia a densificación del suelo y evitando los efectos del aumento de presión de agua. También influye la forma de las partículas que conforman el suelo, siendo un depósito de partículas redondeadas más susceptible de sufrir licuefacción.
- Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.
- Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

b) Volcanismo

El peligro volcánico deriva de los procesos asociados a la erupción de un volcán. En Chile el volcanismo activo se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, pero de forma discontinua. En la zona entre los 18° y 27°S y aquella al sur de los 33°S se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27°-33°S está ausente. Los principales peligros asociados a una erupción volcánica se resumen en la Ilustración 7-8 y en la Tabla 7-1.

La lluvia de ceniza y tefra se produce durante erupciones explosivas en las que una gran cantidad de material volcánico se inyecta en la atmósfera a gran altura, generando columnas de tefra, compuestas por piroclastos y gases. Estas columnas, ascienden velozmente alcanzando en pocos minutos alturas estratosféricas, siendo dispersadas por el viento y esparcidas las cenizas y piroclastos alrededor de una gran área. En caso de colapso de esta columna se producen flujos y oleadas piroclásticas que pueden alcanzar centenares de kilómetros, en función de la altura de la columna de tefra (energía potencial transformada en energía cinética) y la dirección del viento, generando grandes depósitos de ceniza y piroclastos incandescentes. Adicionalmente, es común que se produzca contaminación de aguas superficiales en todo el sector afectado por la caída de cenizas, así como también de los acuíferos en los alrededores del volcán por la inyección de aguas hidrotermales, además del envenenamiento por dispersión de gases tóxicos hacia la atmósfera.

Ilustración 7-8 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.



Fuente: Myers y Brantley (Myers & Brantley, 1995).

Los flujos de lava se producen cuando material magmático se desplaza aguas abajo del centro de emisión. El alcance que tendrán estos flujos está determinado por la tasa de efusión (emisión del centro volcánico), la pendiente del terreno sobre el cual la lava escurre y la viscosidad de la lava. Además, en las cercanías del centro de emisión se producen comúnmente temblores de magnitud inferior a 6 en la escala de Richter (M_w), pero a poca profundidad (entre 1 y 20 km), los que están asociados a intensidades mayores a VI en las cercanías del epicentro. Estos sismos provienen de diversos procesos, tales como ascenso del magma y fracturamiento de la corteza, explosiones volcánicas y esfuerzos tectónicos compresivos y expansivos asociados al ciclo eruptivo (González-Ferrán, 1995).

Los procesos de remoción en masa asociados a una erupción volcánica se pueden clasificar en tres grandes grupos: lahares, colapso parcial o total del edificio volcánico y deslizamientos de laderas (González-Ferrán, 1995). Los lahares se producen por el brusco derretimiento de hielos y nieve durante una erupción volcánica. Corresponden a una mezcla de rocas fragmentadas preexistentes en las laderas de un volcán con materiales efusivos frescos y una gran cantidad de agua. Esta mezcla desciende aguas abajo a altas velocidades y de manera turbulenta, arrasando e incorporando a su flujo todo lo que encuentra en su trayecto (árboles, casas, etc.). Reportes históricos describen que las velocidades que alcanzan estos flujos van desde los 1,3 m/s hasta los 40 m/s, recorriendo decenas de kilómetros aguas abajo del valle, y en casos en que la velocidad sea mayor a 150 Km/h pueden remontar barreras topográficas.

El colapso, total o parcial, del edificio volcánico puede producirse como consecuencia de una gran cantidad de energía liberada durante la erupción. Este proceso puede provocar tsunamis si ocurre en la cercanía de lagos o embalses, ya que puede producir el desplazamiento de volúmenes importantes de agua en pocos minutos generando olas destructivas de gran energía. Finalmente, asociado a la sismicidad producida por la erupción, pueden generarse deslizamientos de terreno en la cercanía del centro eruptivo, lo que puede dar paso a flujos de barro y/o detritos aguas abajo.

El impacto en la población y sus actividades es muy alto en las cercanías de los centros volcánicos, ya que los procesos asociados a una erupción (caída de ceniza, flujos piroclásticos, contaminación de aguas superficiales), pueden generar grandes catástrofes en la vida diaria e infraestructura de las comunidades. Los efectos más directos para la población, aunque la erupción se encuentre a distancia, son:

- Pérdida de tierras cultivables
- Colapso de techos y obras civiles
- Pérdidas de vidas humanas y forraje
- Contaminación de aguas y problemas sanitarios derivados.

Se debe destacar que, la duración de una catástrofe por actividad volcánica puede ser considerable dado que un ciclo eruptivo puede extenderse por meses o años (por ejemplo, el ciclo eruptivo del volcán Chaitén), y pueden afectar grandes áreas de terreno, como por ejemplo la erupción del volcán Quizapú en el año 1932, cuya pluma de ceniza alcanzó la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica o la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, cuya pluma de ceniza dio la vuelta al mundo.

Tabla 7-1 Peligros asociados al volcanismo.

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
Lluvia de Tefra y Proyectiles Balísticos	Proyección de Bombas y Escorias Incandescentes	Daños por impacto, incendios.	Alrededores del volcán (<10 km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menor alcance; menor tamaño, mayor alcance
	Caída de Piroclastos y Dispersión de Cenizas	Recubrimiento de cenizas, colapso de estructuras, daños a la agricultura, daños a instalaciones industriales y viviendas, problemas de tráfico aéreo, falta de visibilidad, contaminación de aguas.	Centenares de kilómetros	Dirección del viento
	Flujos y Oleadas Piroclásticas	Daños a estructuras, incendios, recubrimiento por cenizas.	Decenas a centenares de kilómetros*	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Gases	Envenenamiento, contaminación aire y agua.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Inyección de Aerosoles a la Estratósfera	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia.		Dirección del viento
Lavas y Edificio Volcánico	Lavas y Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación del Terreno	Fallas, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	
	Terremotos y Temblores Volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remociones en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barros.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	Colapso Parcial o Total del Edificio volcánico	Daños estructuras, recubrimiento por detritos, avalanchas, tsunami inducido.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
	Deslizamiento de Laderas	Arrastre de materiales, recubrimiento por detritos, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
Otros	Ondas de Choque	Rotura de cristales y paneles.	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	Variaciones en el Sistema Geotérmico de Acuíferos	Cambios de temperatura y calidad del agua.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

Fuente: Elaboración propia a partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002). (*) El peligro de Flujos y Oleadas Piroclásticas, si bien presenta un alcance de hasta centenares de kilómetros, este se restringe únicamente a las hoyas hidrográficas que drenan cada aparato volcánico.

7.2.2. Procesos externos o exógenos de la Tierra

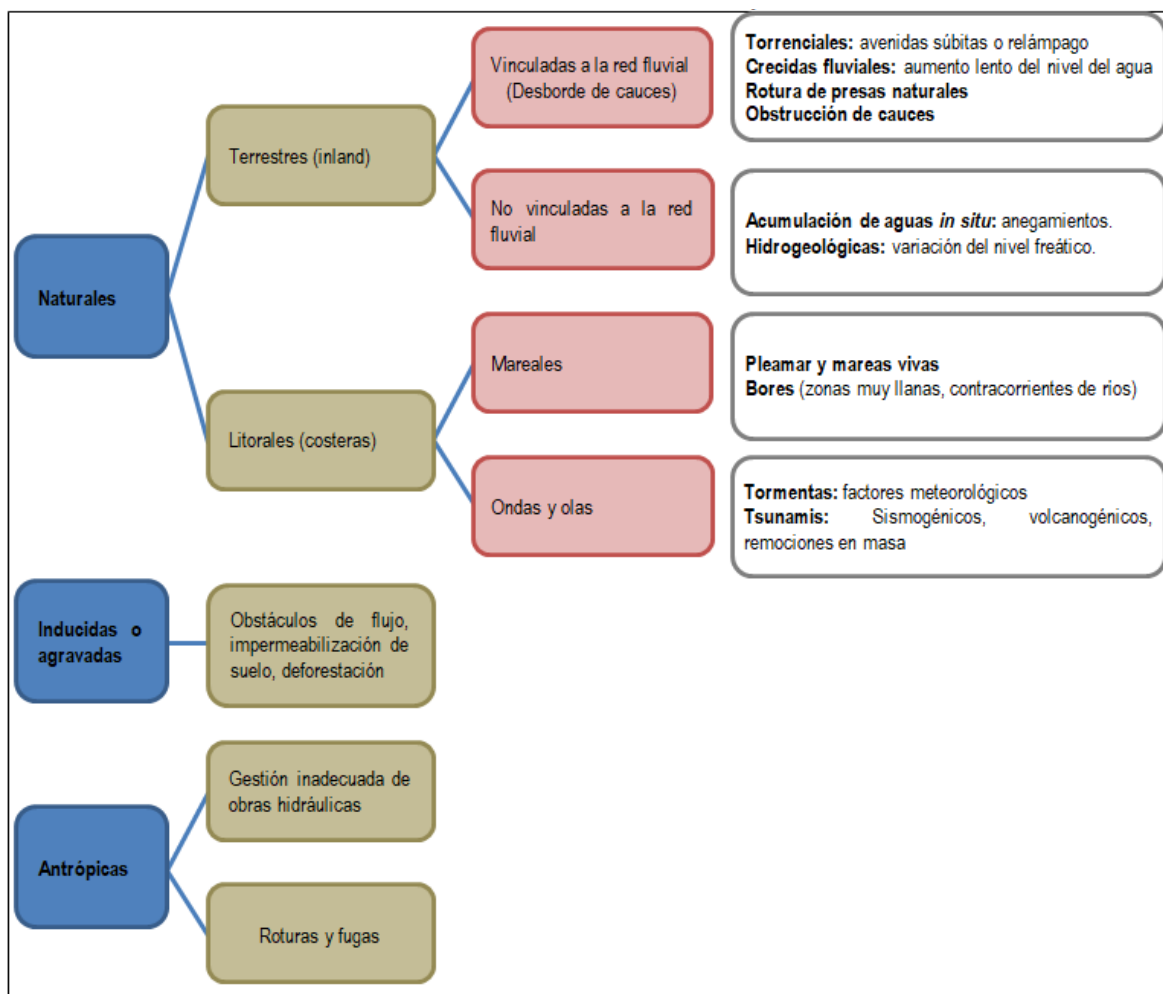
a) Inundaciones terrestres y litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (Ilustración 7-9): (1) terrestres, en el sentido de “tierra adentro”, en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes, y (2) litorales o costeras, en las que aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre (por las características de la comuna, éstas no se analizan). Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

Cabe notar que existe una estrecha relación entre los fenómenos pluviométricos estacionales y los fenómenos de avalanchas, rodados, aluviones o erosiones. Los últimos se ven acentuados por el aumento de la capacidad de arrastre de material, por inundación y por desborde de cauces, todos ellos asociados a la activación de quebradas por lluvias ocasionales y que ponen en riesgo a la población en los alrededores.

A continuación, se presenta una breve descripción de los distintos tipos de inundaciones.

Ilustración 7-9 Clasificación de los tipos de inundación.



Fuente: Modificado de Díez Herrero et al. (2008).

i Inundaciones por desborde de cauce

Como su nombre lo indica, estos tipos de fenómenos ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. Estos fenómenos se producen generalmente debido a eventos de precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo. Los valores que pueden alcanzar los caudales, así como el tamaño del cauce, dependen también de otros factores como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

Para este tipo de inundaciones, se pueden identificar dos tipos principales de cauces:

- **Perennes:** ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas. Aunque no presenten necesariamente una escorrentía superficial

continúa, se consideran como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado bajo la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente están ocupadas por actividades agrícolas o asentamientos humanos.

- Intermitentes: Esteros y quebradas de escurrimiento temporal como consecuencia directa de precipitaciones intensas. En general, algunas de estas quebradas pueden presentar amenaza por fenómenos de remociones en masa del tipo flujos de detritos, existiendo una estrecha relación entre estos fenómenos e inundaciones por escorrentía torrencial de gran velocidad. Como se explicará posteriormente, los flujos de detritos, al perder su carga sólida, van transformándose paulatinamente en inundaciones torrenciales. Normalmente no existen estaciones fluviométricas en estos cauces, por lo que la estimación de caudales máximos se debe hacer con modelos matemáticos y estadísticas de precipitaciones máximas de gran intensidad.
- Los efectos que se pueden generar como consecuencia de una inundación estarán dados por varios factores. Naturalmente, los efectos dependen de la intensidad de la inundación, sin embargo, se deben diferenciar los efectos sobre los edificios, que se correlacionan mejor con la altura de inundación, de la afectación a la infraestructura vial, que se correlaciona mejor con la velocidad de escurrimiento (Kreibich, et al., 2009), aunque, se debe tener en consideración que existe una buena correlación entre ambas variables. Por otra parte, existen otras variables que inciden en el nivel de daño que generan las inundaciones (Merz, et al., 2013; Hasanzadeh Nafari, et al., 2016):
- Superficie de las construcciones (que se correlaciona con la densidad de población y con el nivel socioeconómico de los habitantes), valor de las propiedades y calidad de la construcción.
- Medidas preventivas, asociadas a la construcción.

ii Inundaciones por acumulación de aguas lluvia en zonas llanas o anegamiento

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Este tipo de inundaciones se asocia a la zona de desembocadura de algunas quebradas, las que son “embalsadas” por caminos y obstrucciones antrópicas. Estas barreras no permiten que el río escurra fácilmente hacia el mar, sino solo de forma subterránea, provocando el ascenso de los niveles freáticos y la formación de zonas pantanosas y humedales. Solo en eventos de pluviosidades extremas, el caudal transportado por las quebradas tiene la suficiente fuerza para romper esta barrera, atravesándola y provocando inundaciones por desborde de cauces.

En las zonas urbanas consolidadas, las acumulaciones de aguas lluvia ocurren especialmente en cruces viales, donde la evacuación de las aguas lluvias es insuficiente, ya sea por el colapso de los sistemas de colección, acumulación de basuras que obstruyen los desagües, la no existencia de redes de evacuación y vialidad pavimentada, por la diferencia de nivel de las carpetas de rodado en las intersecciones de las calles existentes, o por diseñar las obras de mitigación para un período de retorno no adecuado.

iii Inundaciones costeras asociadas a maremotos

Los tsunamis o maremotos corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua. Se conocen tres orígenes posibles:

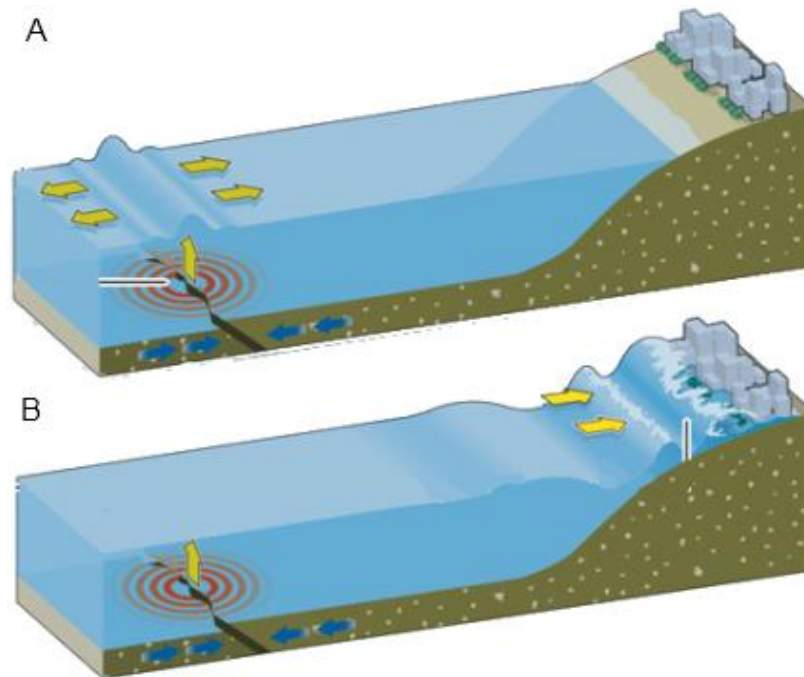
Maremotos generados producto de un sismo mayor: durante un terremoto se genera una rápida elevación o hundimiento del fondo marino, provocando un gran movimiento vertical de agua que es propagado en forma de olas que se alejan radialmente desde la zona de ruptura, movimiento que puede considerarse lineal (Ilustración 7-10).

Ilustración 7-10 Mecanismo de formación de un maremoto asociado a un terremoto

cuyo epicentro es submarino.

A. Sismo genera un pulso vertical que mueve las aguas superficiales.

B. Corresponde al momento en que arriba la onda a la costa.

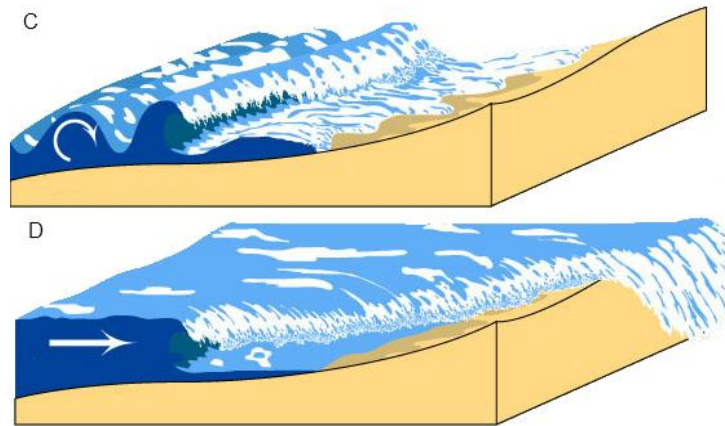


Fuente: Modificado de Keller y Blodgett (2004).

A diferencia de las olas generadas por el viento, en las cuales las partículas tienen un movimiento circular ondulante, las olas generadas por un maremoto fluyen en línea recta hacia adelante (ver

Ilustración 7-11).

Ilustración 7-11 Comparación entre olas generadas por el viento y frente de olas de un maremoto.

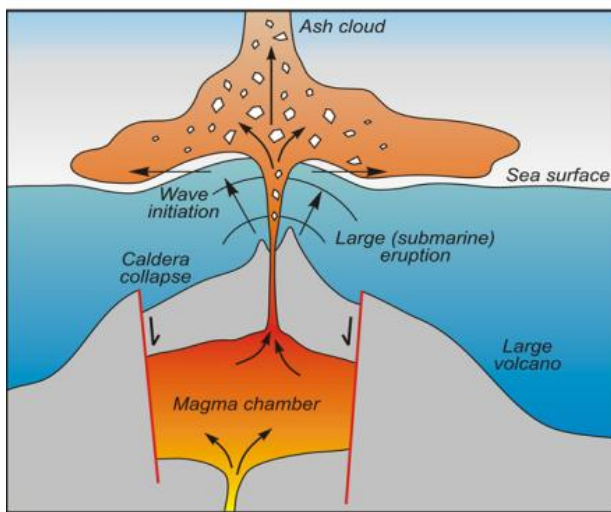


Fuente: Modificado de Department of Earth and Space Sciences. University of Washington, en <http://www.ess.washington.edu/tsunami/images/tsulg.jpg>.

Se pueden definir dos tipos de maremotos: (1) los de “origen cercano”, donde la población siente el terremoto que generará el maremoto, y (2) los de “origen lejano”, donde la población no es alertada por un movimiento sísmico previo al arribo del maremoto. Se debe recalcar que, aun cuando los maremotos están generalmente relacionados a sismos de magnitud mayor a 8.0° con un epicentro bajo la superficie marina ésta no es la única forma de generación de este tipo de fenómenos.

Maremotos generados por erupción volcánica submarina: Se producen por erupciones volcánicas submarinas, las que generan un pulso de agua vertical que es disipado en forma de olas (Ilustración 7-12). Cómo la generación es puntual, la energía liberada es menor a la generada por sismos.

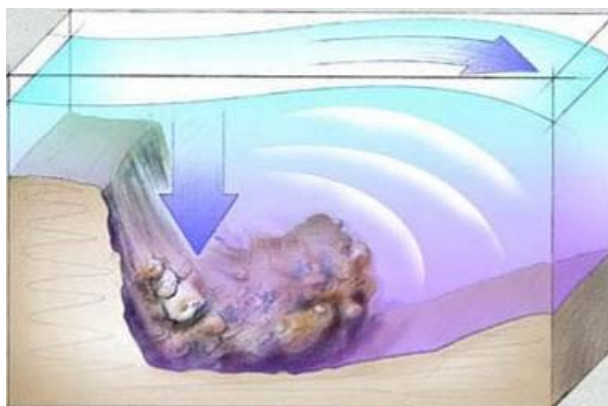
Ilustración 7-12 Mecanismo de generación de maremotos por erupciones volcánicas submarinas.



Fuente: Tomado de Natural Resources of Canadá, de http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/tsunami/fig4_tsunami_volcano_eruption.jpg

Maremotos generados por deslizamientos: Corresponden a deslizamientos submarinos o superficiales, que generan perturbaciones en el nivel del mar o en lagos (ver Ilustración 7-13). Ejemplos de este tipo se han registrado en el fiordo de Aysén asociado al ciclo sísmico desarrollado durante abril de 2007 (Sepúlveda & Serey, 2009).

Ilustración 7-13 Mecanismo de generación de maremotos asociados a deslizamientos.



Fuente: Tomado de Universidad de Santa Cruz, California. <http://scicom.ucsc.edu/scinotes/9901/kill/images/slidesfinal.jpg>

La propagación del frente de ondas del maremoto se produce superficial y concéntricamente, similar al efecto en la superficie de un estanque de agua al lanzar una piedra. En aguas abiertas, la altura de la ola es casi imperceptible (menores a un metro) y se desplaza a velocidades que llegan a los 800 km/h, pero esta velocidad disminuye a menos de 60 km/h al acercarse las olas al continente transformando así la energía cinética (velocidad) en energía potencial (altura de ola). La altura máxima de la ola (medido sobre el nivel medio del mar) y su penetración en el continente estará condicionada por la distancia al epicentro del terremoto, así como también por la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino, pudiendo alcanzar hasta 30 metros de elevación sobre el nivel del mar en el continente.

Aun cuando la mayoría de los maremotos son generados por sismos, su impacto e intensidad están determinados en primer lugar por la topografía submarina del sitio donde se produce el sismo (por ejemplo, profundidad y consistencia del suelo marino). De esta forma, según los estudios científicos, se sabe que ante un temblor de epicentro poco profundo y cuya intensidad sea inferior a los 6.4 grados en la escala de Richter, existen pocas probabilidades de que se genere un maremoto. Aquellos con magnitudes superiores a los 7.5 grados son los principales causantes de maremotos de alto riesgo.

Dadas estas características, es preciso señalar que los maremotos son muy frecuentes en el Océano Pacífico, pues el margen de su cuenca oceánica se distribuye alberga en conjunto una de las zonas con mayor actividad sísmica en el planeta: el Cinturón de Fuego del Pacífico. Basta decir que por ejemplo, entre los años de 1900 y 1986, fueron registrados en esta cuenca 247 maremotos de los cuales 29% incidieron en las costas japonesas.

Se han definido diversas escalas para medir la magnitud e intensidad de los maremotos. Una de las más conocidas es la escala Inamura (1942, 1949) que en función de la altura de las olas y los daños que estas producen en la costa clasifica el impacto y la intensidad de estos fenómenos, de manera similar a la medición de la Escala de Mercalli de los eventos sísmicos (Tabla 7-2).

Tabla 7-2 Escala de grados de maremotos, según Inamura.

Grado de maremotos m	Altura de la ola H (en metros)	Descripción de los daños
0	1-2	No produce daños.
1	2-5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5-10	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10-20	Daños extendidos a lo largo de 400km de la costa.
4	>30	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Fuente: Inamura (1942, 1949).

Posteriormente, Iida (1963) relacionó la energía liberada por un terremoto con la energía del maremoto asociado, estimando el desplazamiento vertical de agua de este último (Tabla 7-3).

Tabla 7-3 Escala de grados de maremotos según Iida.

Grado de maremoto m	Energía (Erg) x 1023	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6	> 32
4.5	12.8	24 - 32
4.0	6.4	16 - 24
3.5	3.2	12 - 16
3.0	1.6	8 - 12
2.5	0.8	6 - 8
2.0	0.4	4 - 6
1.5	0.2	3 - 4
1.0	0.1	2 - 3
0.5	0.05	1.5 - 2
0.0	0.025	1 - 1.5
-0.5	0.0125	0.75 - 1
-1.0	0.006	0.50 - 0.75
-1.5	0.003	0.30 - 0.50
-2.0	0.0015	< 0.30

Fuente: Iida (1963).

Esta metodología en, en términos generales, análoga a la escala de Richter (que mide la magnitud del sismo) con la energía del maremoto. Por último, Wiegel (1970) combinó las escalas de Inamura e Iida con lo cual logró identificar y diferenciar con mayor claridad la magnitud de un maremoto (Tabla 7-4).

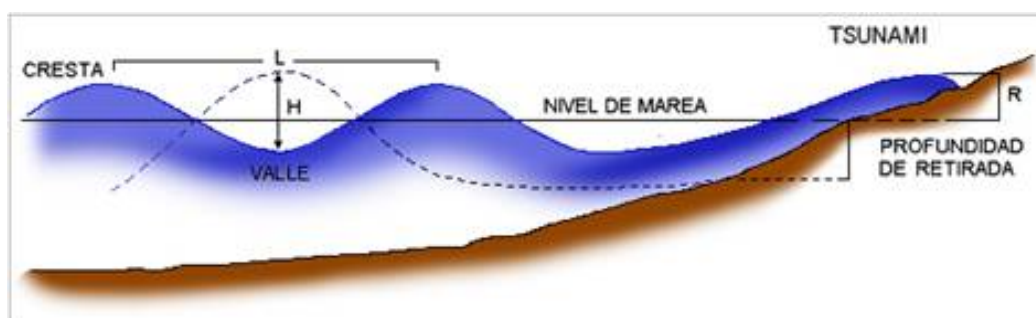
Tabla 7-4 Escala de grados de maremoto según Inamura e Iida, transcrita por Wiegel.

Grado maremoto m	Altura de la ola H (metros)	Altura máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños.
0	1 – 2	1 – 1.15	No produce daños.
1	2 – 5	2 – 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 – 10	4 – 6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 – 20	8 – 12	Daños extendidos a lo largo de 400km de la costa.
4	> 30	16 – 24	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Fuente: Wiegel (1970)

Los parámetros considerados por Wiegel (1970) son los que se muestran en la Ilustración 7-14: la altura de la ola (H) como la diferencia de nivel entre la cresta y el valle; altura máxima de inundación (R), corresponde al lugar de la costa donde los efectos del maremoto son mayores.

Ilustración 7-14 Elementos básicos considerados en la escala de magnitud Inamura-Iida, definida por Wiegel (1970).



Fuente: Modificado de Wiegel (1970)

En resumen, los efectos de un maremoto a lo largo de una línea costera dependerán de la magnitud del sismo o manifestación que lo origina, la topografía del suelo marino a lo largo y ancho de la zona de propagación del maremoto (existencia de arrecifes, malecones, etc.), la distancia de la costa al epicentro, y la orientación y forma de la bahía afectada respecto al epicentro. Existen relaciones directas entre la magnitud del sismo y del maremoto: a mayor magnitud del sismo, mayor el tamaño

de la ola. Sin embargo, de acuerdo a la morfología de la costa, la extensión de la inundación puede crecer o verse disminuida, variar en los tiempos de llegada a puerto, o simplemente perder energía y afectar a la costa con menor intensidad.

El daño en el continente será proporcional a población que habita y a la infraestructura presente en la zona afectada, y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

- Tiempo de Aviso: Lamentablemente, el daño a la infraestructura es inevitable, pero puede salvarse una cantidad considerable de vidas si de alerta adecuadamente a la población.
 - Maremoto de origen cercano: es de aproximadamente 15 minutos a una hora si el sismo fue percibido por la población, la que debe dirigirse hacia los sectores altos inmediatamente después de ocurrido el terremoto.
 - Maremoto de origen lejano: el tiempo de aviso puede ser nulo si no se activa una alerta de maremoto de origen lejano, como el ejemplo presentado de la Península de Kamchatka o los eventos ocurridos en el océano Índico durante el 2004.
- La distancia al origen del maremoto, así como la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino. En este sentido, científicos japoneses han determinado que a menor pendiente de la ola (relación entre altura y longitud de onda), mayor será la altura máxima de inundación. Por ello, una costa que presente una plataforma continental escalonada (como si fuera una gran escalera), reduce la energía cinética del maremoto y con ello sus potenciales riesgos; mientras que una línea costera con una plataforma continental de pendiente suave permite que la energía del maremoto sea recibida en su totalidad.
- El daño será proporcional a la población y la infraestructura presente en la zona afectada y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos, como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

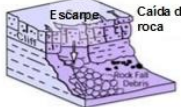
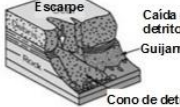

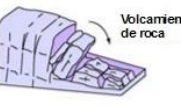
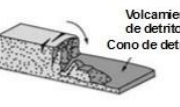
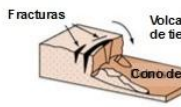
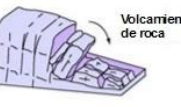
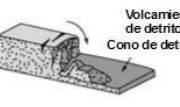
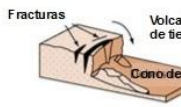

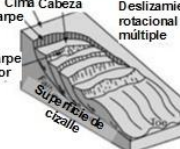
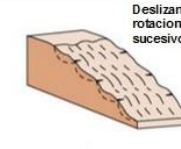


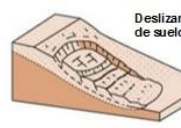


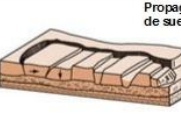
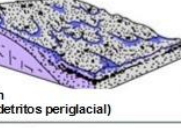

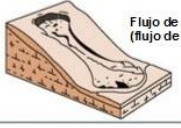

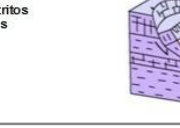
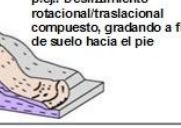

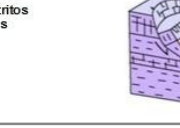
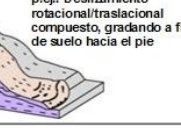
El grado de daño producido por una inundación, dependerá de varios factores:

- Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y aviso a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Por lo demás, en general los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
- Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) o un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

b) Procesos de remociones en masa

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (Ilustración 7-15). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

Ilustración 7-15 Clasificación de tipos de remociones en masa en relación al movimiento que lo origina y el tipo de material constituyente de la ladera

Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA				
				
VOLCAMIENTO				
DESPLAZAMIENTO	Rotacional			
	Traslacional (planar)			
PROPAGACION				
				
COMPLEJO				
				

Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de Varnes (1978) y Cruden & Varnes, (1996). Disponible en:
http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

i Flujos de detritos y barro

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, et al., 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En

los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina estos flujos se conocen como flujos de barro.

Las partículas sueltas que cubren pendientes desnudas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente, a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson & Scott, 1985).

Para la ocurrencia de flujos de detritos es necesario que exista una cuenca donde se colecten los aportes de lluvia y una zona de acumulación de material donde los detritos se acopien para ser posteriormente transportados en el caso de que se cumpla alguna condición desencadenante.

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Solo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Solo se disponen de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis de relación a estas variables ya que a veces basta una lluvia “corta” pero extremadamente intensa para generar un flujo de detritos.

Los flujos o “aluviones” del 18 de junio de 1991 en Antofagasta y del 3 de mayo de 1993 en la Quebrada de Macul en Santiago Oriente son ejemplos de eventos que han suscitado el interés nacional tanto por el alto grado de daños materiales como el costo de vidas humanas. Estos eventos han sido, por otra parte, un aporte para el conocimiento de los umbrales de intensidad de precipitaciones mínimas para la generación de flujos de detritos en Chile. En el caso de Antofagasta, en una de las zonas más secas del país, se estimaron precipitaciones mínimas de 30 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1997). En el caso de Santiago Oriente, se contó con datos pluviográficos más precisos, donde se registraron casi 10 mm en una sola hora (1996). Anteriormente, para la Región Metropolitana se estimó un mínimo de 60 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1985).

Si bien los casos anteriores se encuentran fuera del área de estudio, cabe destacar que corresponden a los pocos eventos donde se ha relacionado cuantitativamente la ocurrencia de estos fenómenos y la intensidad de precipitaciones. Sin embargo, estos constituyen datos valiosos en cuanto a los umbrales de intensidad de precipitaciones en las que se podrían generar flujos de características catastróficas.

El grado de daño producido por un flujo dependerá de varios factores:

- Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y alerta a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Si se tienen mediciones continuas de la

intensidad de precipitación, será posible alertar a la población de que existe la posibilidad de que se genere un flujo, entregando quizás minutos valiosos que podrían salvar vidas.

- Distancia al origen del fenómeno: Mientras más alejado sea el origen, y si se cuenta con sistemas de emergencia y alerta a la población, se puede disminuir la vulnerabilidad social.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno (tamaño del flujo): Un flujo de mayor tamaño y rápido tiene mayor capacidad de afectar a una población que uno más pequeño y lento.
- Densidad de población en la zona susceptible a ser afectada: En caso de que la población se encuentre directamente en el cauce del flujo, los daños pueden ser catastróficos, ya que pueden producirse muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales mayores, etc., tal como ocurrió en los casos de Antofagasta (1991) y Quebrada de Macul (1993). Si el cauce no afecta directamente a la población, pueden producirse cortes de caminos y daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destrucción de captaciones de agua para el consumo humano), lo que se traduce en un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

Este peligro geológico será tratado en conjunto con el peligro de inundación por desborde de cauce, ya que estos dos fenómenos comparten una serie de características comunes que permiten estudiarlos como un mismo proceso.

ii Desprendimientos o caídas de rocas

Los desprendimientos o caída de rocas son remociones en masa en las cuales bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas de altas pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, para luego desplazarse en caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, 2000). Estos ocurren cuando existe una discontinuidad en la roca (por ejemplo, fracturas, planos de estratificación u otras estructuras propias de las características de la roca) cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Entre las zonas susceptibles a sufrir desprendimientos o caídas de rocas destacan los flancos de quebradas profundas, labradas en secuencias estratificadas con niveles más duros hacia el techo, expuestas a erosión fluvial, o acantilados costeros expuestos a erosión marina.

La gravedad es el principal motor del peligro de caída de rocas. Como este es un proceso gravitacional depende de leyes de fricción y es, por consiguiente, caótico. Dentro de los factores desencadenantes destacan los grandes sismos que pueden generar numerosos desprendimientos a partir de laderas con fuerte inclinación y con condiciones geológicas y estructurales favorables.

La caída de bloques o desprendimientos, puede producir una serie de efectos en personas, desde contusiones menores hasta la muerte, dependiendo del tamaño del bloque y la fuerza con que este cae. En el caso de estructuras, por lo general los daños son casi nulos, pero puede producirse la rotura de vidrios o daños a muros en función del tamaño del bloque y la distancia recorrida por este. Además, al caer un bloque en el camino puede producirse un accidente debido a maniobras de conducción para evitarlo.

En general, este peligro presenta una vulnerabilidad social, económica y estructural menor que otros peligros geológicos. Además, afecta a escala local, pero tiene una mayor incidencia debido a que su recurrencia es alta. En este peligro, el tiempo de aviso es mínimo, pero se puede mitigar indicando que la zona es susceptible a ser afectada por caída de bloques.

iii Deslizamientos

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 2000). Los volúmenes incluidos en estas remociones varían desde algunas decenas hasta varios millones de metros cúbicos y pueden adquirir magnitud catastrófica.

Estos fenómenos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, siendo principalmente divididos en rotacionales y traslacionales (Ilustración 7-16). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

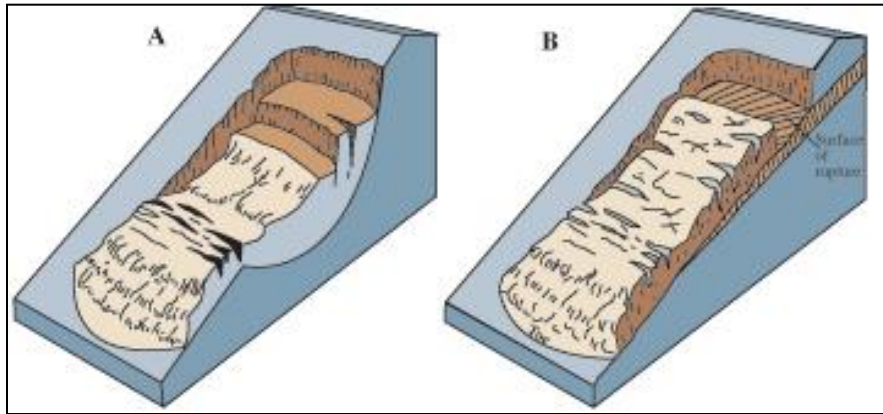
Adicionalmente, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como “Retroceso de laderas”, que corresponde a la retirada del escarpe en dirección aguas arriba, sin que esta sufra cambios en sus rasgos geométricos, es decir, con posterioridad al movimiento de material, la forma del escarpe permanece constante (Pain, 1986).

Los factores condicionantes de un deslizamiento corresponden principalmente a: los factores intrínsecos del suelo y la roca, las características geológicas (litología, estructuras, grado de alteración y meteorización, etc.), los factores geomorfológicos (pendiente, aspecto, curvatura, elevación, entre otros), la cantidad y tipo de vegetación y el grado de humedad y posición del agua subterránea.

Por otro lado, estos fenómenos pueden ser generados por factores externos, denominados factores desencadenantes o gatillantes, tales como eventos hidrometeorológicos, sísmicos y actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

Los daños en el medio antrópico producto de un deslizamiento que afecta a un área determinada, estarán dados por el volumen de material desplazado durante el proceso y la velocidad con la que se produce el deslizamiento.

Ilustración 7-16 Ejemplos de deslizamientos. A Deslizamiento rotacional. B Deslizamiento traslacional.



Fuente: Modificado de Landslide Types and Process, USGS. Fact Sheet 2004-3072. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/Fig3grouping-2LG.jpg>

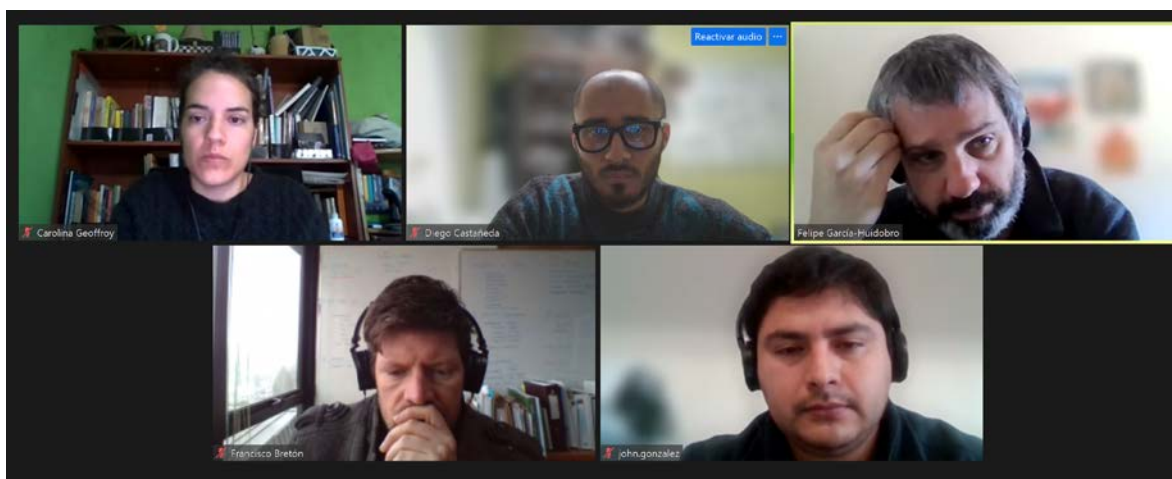
El grado en que un deslizamiento afecta a la población depende de:

- Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
- Densidad de población: A mayor densidad de población y área expuesta susceptible de ser afectada, mayores serán los daños esperados. Si la población se encuentra directamente en el área de alcance de un deslizamiento, la vulnerabilidad, estructural y económica es muy alta ya que la pérdida de vidas, viviendas y productividad son efectos típicos de este peligro geológico. Por otro lado, si un deslizamiento afecta a caminos, acueductos o líneas eléctricas puede producir aislamiento, enfermedades gastrointestinales y pérdidas económicas en general para la población.
- Tiempo de aviso: Sin estudios de detalle no hay forma de predecir este tipo de procesos. Si se realizan estudios específicos, es posible conocer el o los factores gatillantes de las remociones en masa en un área determinada. Si estos factores gatillantes pueden ser monitoreados, es posible generar sistemas de alerta. Por ejemplo, si el factor gatillante son las precipitaciones sobre un cierto nivel umbral de intensidad, es posible generar sistemas de alerta que se activen cuando se sobrepasa dicho umbral.

7.3. Actas reuniones

Estudio Proyecto	PLAN REGULADOR COMUNAL VALDIVIA	
Motivo de la reunión	Entrevistas Recopilación Antecedentes	
Fecha: 25/08/2023	Hora Inicio: 10:00	Hora Fin: 10:40
Lugar	Telemático (Zoom)	

Participantes	
Nombre	Cargo / Institución
Carolina Geoffroy	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Felipe García-Huidobro	Geóloga de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Diego Castañeda	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Francisco Bretón	Asesor Urbanista Municipalidad Valdivia
John González	Inspector Fiscal DOH



Temas Tratados
<p>Solicitud de antecedentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Felipe comenta que no hay estudios disponibles online de cauces menores. Que nos gustaría saber de zonas que hayan reconocido que se desborden. • Francisco Bretón muestra la zona de estudio y menciona algunos ríos o cauces como Andachilla • John menciona que se ha trabajado con el Plan Maestro de Aguas Lluvias que tiene cierta especificidad. • Los estudios de proyectos individuales se encuentran separados del Plan Maestro • El Plan Maestro, el Estudio de Humedales y del sector de Santo Domingo. • El Estero Leño seco está dentro de la red primaria y se analiza en el Plan Maestro de Aguas Lluvias y de proyectos de colectores. •
<p>Estudios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Maestro de Aguas Lluvias entró en vigencia el 2001 y se actualizó el 2014 • Informe del sector Las Gaviotas colindante con el humedal • Hay un programa de Estudios de Protección de Rivera que genera proyectos a partir de solicitudes de externas (personas naturales, jurídicas, por ejemplo). Uno de ellos es el estudio del río Callecalle orientado a conocer dónde emplazar obras de encauce y hay otro aprobado pero aún sin decretar sobre el deslinde del estero Santo Domingo. • Se debe solicitar a Vialidad las obras de la circunvalación As build. Esto lo realizó el nivel central de Vialidad. • Diseño definitivo de Barrios Bajos. • Los estudios más importantes son el plan Maestro del 2014, los estudios de humedales y el estudio del estero Santo Domingo.
<p>Catastro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barrios Bajos, Bueras y parque Haverbeck han disminuido sus inundaciones debido a la existencia de colectores. • En Barrios Bajos se construyó una gran red de colectores de aguas lluvias, el año 2005-2006, y una laguna de alivio para disminuir las inundaciones. Otro colector importante es el colector Bueras y el parque Haverbeck • En Barros Bajos entraba agua salobre por el estuario inundando el humedal Miraflores, los colectores que alivianan esta indación están en calle Ramon Escobar y Phillipie.
<p>Zonas críticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento de Niebla, que ha intervenido cauces (por ejemplo, Agua del Obispo). La mayoría de esas cuencas están intervenidas con rellenos u obras de arte. • Las Ánimas, colindante al estero Santa Rosa. No es parte de la red primaria, así que no es atribución de la DOH.

- Sector de las Animas, colindante a estero Santa Rosa. Cauce que no es parte de red primaria. Sectores que se inundan frecuentemente, con escasas pendientes que no permite colectores, harta presión inmobiliaria.
- Torobayo – presión inmobiliaria, está fuera de plan maestro de aguas lluvia (idem sectores altos de Niebla)

Acuerdos		
<ul style="list-style-type: none"> • Envío del Plan Maestro de Aguas Lluvias y Estudios de Humedales. • Proyectos de estudios sobre colectores. • Estudio de deslinde del río Callecalle y Estero Santo Domingo • Preguntar en dirección de obras u otro estudio de colectores que estuvo a cargo de MINVU. • Solicitud a vialidad nivel central sobre las obras en la circunvalación. 		
Estudio Proyecto	PLAN REGULADOR COMUNAL VALDIVIA	
Motivo de la reunión	Entrevistas Recopilación Antecedentes	
Fecha: 29/08/2023	Hora Inicio: 15.00	Hora Fin: 15.40
Lugar	Telemático (Zoom)	

Participantes	
Nombre	Cargo / Institución
Felipe García-Huidobro	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Diego Castañeda	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
José Estay	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Francisco Bretón	Asesor Urbanista – Municipalidad de Valdivia
Felipe Carrasco	SNGM
Paola Ramírez	SNGM



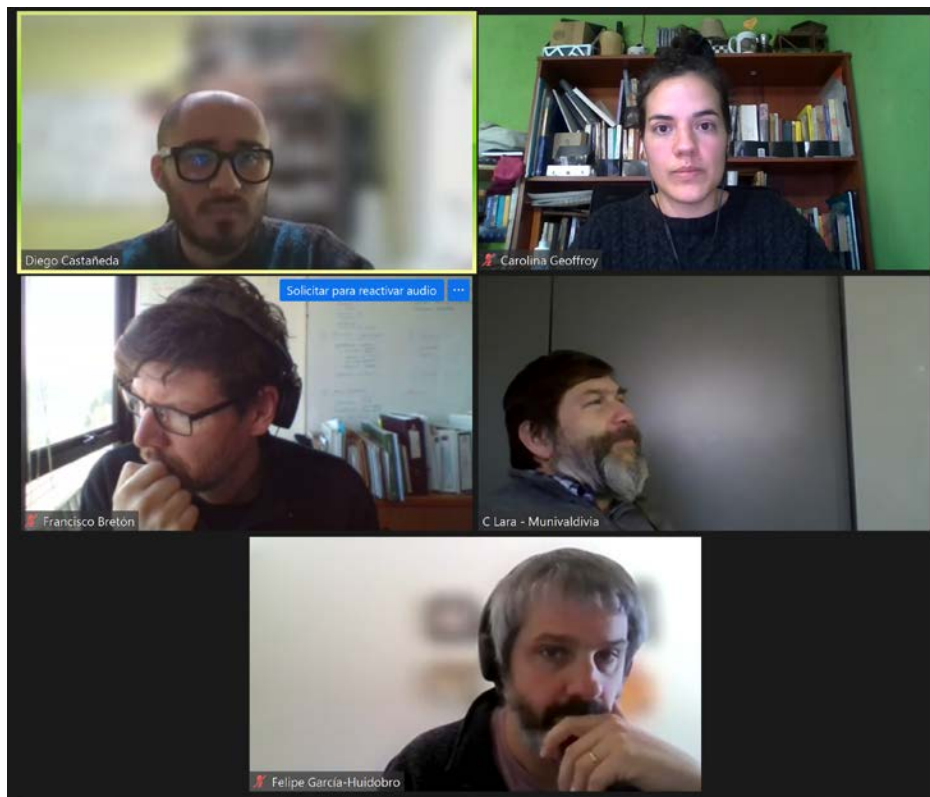
Temas Tratados
<p>Solicitud de antecedentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Francisco contextualiza la reunión y Felipe GH comenta si es posible utilizar la información de FNDR Los Ríos para el PRC de Valdivia (RM). Paola da el visto bueno (hay autorización del gobierno regional para la difusión). SNGM considera que es importante revisar la obtención de agua y el tratamiento de aguas servidas. Haca años atrás una práctica determinó las amenazas de la comuna. Se identificó el retroceso del escarpe costero por el oleaje y sistemas frontales; y la emisión de gases debido a la impermeabilización del suelo y su retención en él, provocando su escape violento o malos olores. SENAPRED tiene información sobre esto. Este tópico es de importancia para SNGM.
<p>RM:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se tocó el tema debido al conocimiento de las dos partes sobre esta amenaza natural en la zona.
<p>Fallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> José Estay muestra el shp de fallas activas del ciclo Milenio (Maldonado et al., 2021) para consultar sobre la opinión del SNGM respecto a su trazado y utilidad. Felipe Carrasco menciona una publicación sobre un catálogo sísmico que muestra también las fallas transversales andinas
<p>Inundación:</p> <ul style="list-style-type: none"> GOT de Valdivia tiene franjas de inundación en las planicies, es antiguo. En septiembre del 2010 se registraron lluvias intensas debido a imágenes satelitales, no existen mapas como tal.

Acuerdos
<ul style="list-style-type: none"> Es posible utilizar libremente la información del FNDR Los Ríos para RM. Envío de publicación sobre catálogo sísmico y fallas transversales andinas. Publicación favorabilidad geotérmica donde se muestran fallas Artículo de datos para la exposición de inundación (Felipe Carrasco)

•

Estudio Proyecto	PLAN REGULADOR COMUNAL VALDIVIA	
Motivo de la reunión	Entrevistas Recopilación Antecedentes	
Fecha: 25/08/2023	Hora Inicio: 11.45	Hora Fin: 13.00
Lugar	Telemático (Zoom)	

Participantes	
Nombre	Cargo / Institución
Carolina Geoffroy	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Felipe García-Huidobro	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Diego Castañeda	Geólogo de proyecto, equipo consultor (Xterrae Geología)
Claudio Lara	Encargado Dirección de Emergencias y Riesgo de Desastres Municipalidad Valdivia
Francisco Bretón	Asesor Urbanista Municipalidad Valdivia
Equipo Dirección de Emergencias y Riesgo de Desastres	



Temas Tratados
<p>Solicitud de antecedentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Francisco Bretón presenta el marco del estudio y contextualiza el motivo de la reunión. • Dirección le hizo entrega a SENAPRED sobre los riesgos de la comuna • Menciona bastante interés por el tema de incendios forestales y poseen un catastro de ellos • Población Miramar en Niebla es un punto más preocupante en cuanto a RM • Pendiente está la amenaza por gases en la isla Teja • Referencia a terremotos se enfoca en los PISE (con DAEM) • Sector Las Antenas inició un incendio forestal con origen antrópico • Incendios llegaron hasta el vertedero desde Chamil • Claudio consulta sobre qué tanto se profundiza en cuanto a eventos hidrometeorológicos (viento y lluvia genera mucha caída de árboles).
<p>Inundaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen anegamientos en zonas críticas ya identificadas e informadas a SENAPRED • Calle Errazuriz entre Koenig y Av. Simpson sufre de anegamientos y con bombas de SENAPRED se extrae el agua hacia el colector de Av. Ecuador. Es toda esta cuadra. • Beneficiencia y Bertoloto posee zonas de inundación debido al canal Catrico que pasa por ahí. Hay viviendas que no están conectadas al alcantarillado. • Sector Norte Grande, Chuquicamata con Tacora se inunda por anegamiento debido a que los canales colapsan por basura y no receptionan el agua. • Estero La Huairona, en Niebla, generó un desborde de cauce debido a intervención antrópica (km 14,5)
<p>Tsunami:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe la información de un plano desde Niebla y ---cura sobre la afectación por esta inundación. Su modelación y las vías de evacuación junto a sus infraestructuras. • La inundación llegaría hasta el puente Cutipai y después continúa hasta río Angachilla
<p>RM:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe un estudio con SERNAGEOMIN que se focaliza en las costas. Hay información de estas en el Callecalle y ruta 202. • Los sectores de playa desde Cutipai hasta San Ignacio, en general es lo más afectado y denso en población. • Población Miramar posee problemas en algunas casas por dos casas que se han movido debido a que el talud de desplazó. • Sector de los Molinos tiene problemas en el camino ya que incluso la solución con gaviones es compleja. • Se desmoronó una zona en el sector de Chamil/Vertedero debido al escurrimiento y llegó hasta el estero El Mosco.

- Por el Callecalle, en el sector Pishuinco, existen construcciones y parcelaciones y han aparecido RM.
- Sector Cuesta Soto posee casas donde también han aparecido RM
- Clemente Escobar en subida Runca existen casas a 50 cm del talud y hay peligro de derrumbe
-

Acuerdos
<ul style="list-style-type: none">•• Plan de Reducción de Riesgos (9 amenazas reconocidas)• Plan Comunal de Emergencia (3 amenazas descritas)• Estudio de tsunami elaborado para Valdivia por U. de Colorado y otros.• Informes de puntos críticos del año 2020, 2021 y 2022 en cuanto a inundaciones por anegamiento.• Planes de inundación de la comuna• Plan de Invierno por el COGRID