



ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE FRESIA

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA REGIÓN DE LOS LAGOS

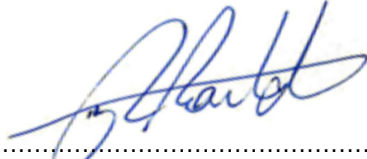
MEMORIA EXPLICATIVA

ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

MARZO 2019

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIRMAS DE PROFESIONALES RESPONSABLES



.....
Profesional responsable Estudio de Riesgos Naturales
Rodrigo Rauld Plott , Geólogo, Magister en Ciencias de la Ingeniería



.....
Profesional responsable Estudio de Zonas no edificables, Áreas de protección de recursos de valor natural y
de valor patrimonial cultural
Pablo Badilla Ohlbaum, Arquitecto

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRÓLOGO	1
I. ÁREAS DE RIESGO DE ORIGEN NATURAL	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación Área de Estudio	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Alcance y Limitaciones	1
1.4 Marco Jurídico	2
2. METODOLOGÍA	4
2.1 Definición del área de estudio y de la escala de trabajo	5
2.2 Elaboración de la línea de base geológica y geomorfológica	5
2.3 Catastro de peligros geológicos	7
2.3.1 Recopilación bibliográfica	7
2.3.2 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales	7
2.3.3 Catastro de factores condicionantes y desencadenantes	7
2.3.4 Campaña de terreno	8
2.4 Zonificación de Susceptibilidad de Peligros Geológicos	8
2.5 Propuesta de criterios de zonificación urbana	8
3. LÍNEA BASE	11
3.1 Marco geodinámico	11
3.2 Marco geomorfológico y geológico	12
3.2.1 Marco geomorfológico y geológico regional	12
3.2.2 Geología local	14
3.2.3 Geomorfología local	19
3.3 Marco climático	21
3.4 Marco hidrológico	21
4. INUNDACIONES TERRESTRES	23
4.1 Catastro de inundaciones terrestres	23
4.1.1 Fuentes de información consultadas	23
4.1.2 Catastro	24
4.2 Peligro de inundaciones por desborde de cauce	32
4.2.1 Diagnóstico de inundaciones por desborde de cauce	32
4.2.2 Susceptibilidad de inundaciones por desborde de cauce	33
4.3 Peligro de inundaciones por anegamientos	33
4.3.1 Diagnóstico de inundaciones por anegamientos	34
4.3.2 Susceptibilidad de inundaciones por anegamientos	35
5. REMOCIONES EN MASA	38
5.1 Catastro de remociones en masa	38
5.1.1 Fuentes de información consultadas	38
5.1.2 Catastro	38
5.2 Peligro de procesos de laderas	39
5.2.1 Diagnóstico de procesos de laderas	39
5.2.2 Susceptibilidad de procesos de ladera	40
5.3 Peligro de flujos de barro y/o detritos	41
5.3.1 Diagnóstico de flujos de barro y/o detritos	41
5.3.2 Susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos	42
6. SISMICIDAD	45
6.1 Catastro de sismicidad	45
6.1.1 Antecedentes Históricos	45
6.1.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial	48
6.1.3 Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio	50
6.1.4 Estudios previos del Peligro Sísmico en el área de estudio	50
6.1 Diagnóstico de peligro sísmico	51
7. VOLCANISMO	52
7.1 Catastro de centros volcánicos	52
7.1.1 Fuentes de información consultadas	52

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

7.1.2	Registro de actividad volcánica de los centros eruptivos cercanos al área de estudio	52
7.2	Diagnóstico de volcanismo	55
8.	RECOMENDACIONES DE PLANIFICACIÓN	56
8.1	Otras recomendaciones	56
9.	REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO	60
II.	ÁREAS DE RIESGO GENERADAS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA	1
1.	CARACTERIZACIÓN GENERAL	1
2.	SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES	1
2.1	<i>Situación Actual</i>	1
2.2	<i>Sobre la posibilidad de aplicar normas de plan regulador comunal</i>	4
III.	ZONAS NO EDIFICABLES	5
IV.	ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL	6
V.	ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR PATRIMONIAL CULTURAL	6
1.	APLICACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN DE ACUERDO AL ARTÍCULO 2.1.18 DE LA OGUC	6
1.1	<i>Monumentos nacionales</i>	6
1.2	<i>Inmuebles de Conservación Histórica</i>	6

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1-1	Ubicación área de estudio	1
FIGURA Nº 1-2	Área de estudio en ciudad de Fresia	2
FIGURA Nº 1-3	Área de estudio en Tegualda	2
FIGURA Nº 2-1	Diagrama de flujo del trabajo realizado	4
FIGURA Nº 2-2	Áreas y escalas de trabajo de este estudio	6
FIGURA Nº 2-3	Recorrido de terreno realizado en la localidad de Fresia en febrero de 2018	9
FIGURA Nº 2-4	Recorrido de terreno realizado en la localidad de Fresia en febrero de 2018	10
FIGURA Nº 3-1	Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S.	11
FIGURA Nº 3-2	Principales elementos geológicos y geomorfológicos a escala regional	13
FIGURA Nº 3-3	Mapa de geología en el área de influencia de Fresia y Tegualda elaborado a escala 1:100.000	16
FIGURA Nº 3-4	Mapa de geología en el área de estudio de detalle de Fresia elaborado a escala 1:5.000. ...	17
FIGURA Nº 3-5	Mapa de geología en el área de estudio de detalle de Tegualda elaborado a escala 1:5.000 ..	18
FIGURA Nº 4-1	Mapa de catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Fresia	27
FIGURA Nº 4-2	Mapa de catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Tegualda	29
FIGURA Nº 4-3	Esquina referida en el Punto F-02 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO Nº 4-1	30
FIGURA Nº 4-4	Casa de vecino referida en el Punto F-04 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO Nº 4-1.	30
FIGURA Nº 4-5	Esquina referida en el Punto F-08 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO Nº 4-1	31
FIGURA Nº 4-6	Mapa de susceptibilidad de inundaciones en el área de estudio de detalle de Fresia	36
FIGURA Nº 4-7	Mapa de susceptibilidad de inundaciones en el área de estudio de detalle de Tegualda	37
FIGURA Nº 5-1	Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno	40
FIGURA Nº 5-2	Mapa de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio de detalle de Fresia ..	43

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA Nº 5-3 Mapa de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio de detalle de Tegalda.....	44
FIGURA Nº 6-1 Terremotos de subducción históricos (interplaca e intraplaca de profundidad intermedia) con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura.....	47
FIGURA Nº 6-2 Sismicidad cortical registrada al este y sureste del área de estudio con soluciones de mecanismos focales a lo largo del experimento de Lange, <i>et al.</i> (2008).....	48
FIGURA Nº 6-3 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre abril de 1973 y julio de 2017.	49
FIGURA Nº 7-1 Mapa General de la Zona Volcánica Sur. El cuadrado con borde de color celeste muestra la ubicación aproximada del área de estudio.	53
FIGURA Nº 7-2 Centros volcánicos cercanos al área de estudio.....	54
FIGURA Nº 7-3 Extracto de Mapa de Peligros Volcánicos de Chile.....	55
FIGURA Nº 9-1 Erupción del Cordón Caulle en 1960	E-4
FIGURA Nº 9-2: Evolución de la pluma de cenizas hacia el este (13 de junio de 2011)	E-5
FIGURA Nº 9-3 Episodio eruptivo del volcán Calbuco ocurrido entre el 25 de Enero al 9 de Marzo de 1961	E-6

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 1-1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.	3
CUADRO Nº 3-1 Resumen de las precipitaciones en la estación Fresia	21
CUADRO Nº 3-2 Precipitaciones máximas esperadas en 24 horas para distintos períodos de retorno en la estación Fresia.	22
CUADRO Nº 3-3 Valores representativos de los caudales medidos en la estación fluviométrica Río Toro en Tegalda.....	22
CUADRO Nº 4-1 Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Fresia.	25
CUADRO Nº 4-2 Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Tegalda.	28
CUADRO Nº 6-1 Datos de terremotos de magnitud superior a 7.0 ocurridos en la zona.	45
CUADRO Nº 6-2 Registro histórico de los más grandes sismos interplaca ocurridos en la zona de estudio ...	46
CUADRO Nº 8-1 Criterios de zonificación urbana en áreas de riesgo	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe	A-1
ANEXO B	Descripción Peligros Geológicos Analizados	B-1
ANEXO C	Metodologías consideradas para el análisis de la susceptibilidad de inundaciones y remociones en masa	C-1
ANEXO D	Cartas de parámetros morfométricos	D-1
ANEXO E	Catastro de peligros geológicos.....	E-1

PRÓLOGO

El presente documento es un estudio especial que forma parte de la Memoria Explicativa de la Actualización del Plan Regulador Comunal de Fresa, denominado Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental, en el cual se definen las áreas de restricción y condiciones para ser utilizadas de acuerdo a las disposiciones contempladas en los artículos 2.1.17 y 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

En el capítulo I se reporta el Estudio Fundado de Riesgos orientado a establecer las Áreas de Riesgo de origen natural

En el capítulo II se reportan los antecedentes para establecer las Áreas de Riesgo generados por la actividad o intervención humana

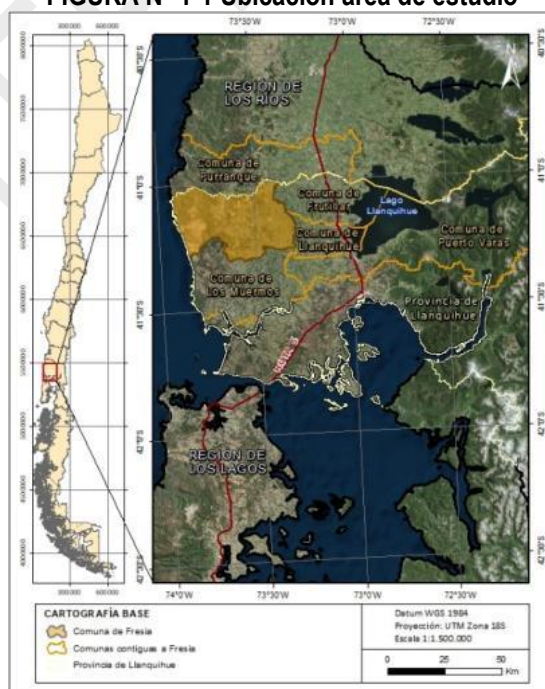
En el capítulo III se muestran las Zonas No Edificables

En el capítulo IV se entregan los antecedentes referidos a las Áreas de protección de recursos de valor natural

En el capítulo V se reseñan las Áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural

El área de estudio corresponde a la ciudad de Fresa y al centro poblado de Tegalda, ambos en la comuna de Fresa. La comuna de Purranque está ubicada en la Provincia de Llanquihue, entre los 40°59'S y los 41°18' Latitud Sur y los 73°56' y los 73°17' de Longitud Oeste en la X Región de Los Lagos. La comuna limita al norte con la comuna de Purranque, al este con las comunas de Frutillar y Llanquihue, al sur con la comuna de Los Muermos y al oeste con el Océano Pacífico (FIGURA N° 1-1). Las principales rutas de acceso a la comuna son las rutas V-20, V-30, V-46 y U-96-V, que conectan con las comunas de Frutillar, Llanquihue, Purranque y Los Muermos, respectivamente. Las dos primeras rutas mencionadas, a su vez, conectan con la Ruta 5 Sur.

FIGURA N° 1-1 Ubicación área de estudio



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 1-2 Área de estudio en ciudad de Fresia



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 1-3 Área de estudio en Tegalda



Fuente: Elaboración propia

I. ÁREAS DE RIESGO DE ORIGEN NATURAL

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este capítulo es la elaboración del Estudio Fundado de Riesgos que acompañe y entregue criterios para el desarrollo del Plan Regulador Comunal de Fresia. En este marco el estudio debe reconocer y delimitar las áreas expuestas a los diferentes tipos de riesgos, de acuerdo a los criterios y definiciones expuestos en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

Los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC son:

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.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Los resultados de este estudio corresponden a la identificación y zonificación de las áreas urbanas susceptibles a ser afectadas por un peligro natural de acuerdo a las definiciones expuestas en el ANEXO A "Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe". Los resultados se presentan en mapas de riesgos y cuadros de resumen, de acuerdo a la nomenclatura propuesta por la OGUC. La zonificación aquí presentada sirve de base para definir las zonas de riesgo y zonas no edificables para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT).

1.1 *Ubicación Área de Estudio*

Las localidades a estudiar son Fresia y Tegalda. Las escalas de trabajo de las áreas a estudiar se detallan en la Sección 2.1 "Definición del área de estudio y de la escala de trabajo".

1.2 *Objetivos*

El objetivo principal de este trabajo es la elaboración del Estudio Fundado de Riesgos Geológicos que acompañe y entregue criterios para el desarrollo del Plan Regulador Comunal de Fresia. Asociado al objetivo propuesto es necesario reconocer y delimitar las áreas de riesgos, de acuerdo a los criterios y definiciones expuestos en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que han de ser incorporadas y/o adecuadas en el desarrollo del Plan Regulador Comunal de Fresia. Los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC son:

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.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.

1.3 *Alcance y Limitaciones*

Este trabajo corresponde al estudio fundado de riesgos que forma parte de la Memoria Explicativa de la Actualización del Plan Regulador Comunal de Fresia, que tiene por objetivo definir "áreas de riesgo" según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC. Incluye un catastro de los peligros que han afectado al área de estudio de detalle de Fresia y Tegalda; un diagnóstico, donde se evalúan los factores que condicionan y

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

desencadenan la ocurrencia de peligros de origen geológicos (geología, geomorfología, clima, hidrología, entre otros); y una zonificación de aquellos peligros, donde se indica cuán susceptibles son algunos sectores en ser afectados por los peligros geológicos estudiados en el área de estudio de detalle de Fresia y Tegalda. Con base en lo anterior, se propusieron restricciones a los criterios de zonificación urbana para el área estudiada.

Por otro lado, debido a las limitaciones de los catastros elaborados, no se llevó a cabo un análisis de períodos de retorno (es decir, de peligrosidad o amenaza). En consecuencia, los mapas entregados corresponden a mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia (1:5.000), ya que esto puede llevar a errores en la planificación territorial.

1.4 Marco Jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 “Disposiciones complementarias” indica lo siguiente:

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 aquéllas 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 restrinja 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, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, dado que la zonificación se realizó a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

En el CUADRO N° 1-1 se presentan los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe¹. A continuación, se desglosa donde se presenta la definición de estos peligros geológicos y los criterios de zonificación utilizados.

- Apartado 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.

De acuerdo a las definiciones utilizadas en este informe, el Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de inundaciones por desborde de cauces e inundaciones por

¹ La nomenclatura utilizada en este informe se basa en las definiciones propuesta por la ONU, UNESCO y SERNAGEOMIN, entre otros, y que se tomaron de Varnes (1984), ONU/EIRD (2004), PMA-GAC (2007) JTC-1 (2008).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

anegamientos. Dado que las áreas de estudio de detalle de la comuna de Fresia no se encuentra en sectores costeros, se descarta el estudio de inundaciones litorales.

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

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa, analizados separadamente como: (1) flujos de barro y detritos, cuyo comportamiento es similar al de inundaciones por desborde de cauces 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 y retrocesos de laderas).

- Apartado 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 de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, es decir, sismicidad y volcanismo.

CUADRO N° 1-1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC				Peligros Geológicos estudiados en este informe	
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			
		Anegamiento			
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujo de barro y detritos.			
		Procesos de laderas	Caída de bloques		
			Deslizamientos		
			Retroceso de laderas		
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad				
	Volcanismo				

Fuente: Elaboración propia en base a la normativa 2.1.17 de la OGUC.

2. METODOLOGÍA

El objetivo del Estudio de Riesgos de Fresia es generar mapas de susceptibilidad para las áreas urbanas de la comuna, para dar cumplimiento al Artículo 2.1.17 de la OGUC. Como parte del proceso para generar los mapas de susceptibilidad, la metodología general del estudio contempla realizar las siguientes tareas, las que se encuentran resumidas en la FIGURA N° 2-1.

1. Definición del estudio
2. Elaboración de una línea de base geológica y geomorfológica
3. Catastro de peligros geológicos
4. Zonificación de susceptibilidad de peligros geológicos
5. Propuesta de criterios de zonificación urbana

En este informe se presentan los resultados correspondientes a la Etapa 2 del estudio, es decir, todos los puntos expuestos anteriormente.

FIGURA N° 2-1 Diagrama de flujo del trabajo realizado



Fuente: Elaboración Propia.

2.1 Definición del área de estudio y de la escala de trabajo

El área de estudio corresponde a la comuna de Fresia, con énfasis en un “área de estudio de detalle” (como será referida a lo largo de este documento) que comprende tanto las localidades de Fresia y Tegualda (FIGURA N° 2-2).

Adicionalmente, para este estudio se definió un “área de influencia” (como será referida a lo largo de este documento) cuyo límite corresponde a la divisoria de agua de las cuencas hidrográficas aportantes al área de estudio de detalle; esto con el fin de estudiar los sectores aledaños al límite del área de estudio de detalle que pueden influir en la ocurrencia de peligros geológicos.

La escala de análisis elegida para el desarrollo del estudio corresponde a la escala 1:100.000 para el área de influencia y 1:5.000 para el área de estudio de detalle.

2.2 Elaboración de la línea de base geológica y geomorfológica

Esta actividad tiene como objetivo identificar los distintos depósitos sedimentarios producto de procesos de remociones en masa e inundaciones, como depósitos aluviales, depósitos fluviales y depósitos coluviales. Las caracterizaciones geológica y geomorfológica se realizaron simultáneamente. Para ello se utilizaron como antecedentes la cartografía geológica disponible en la comuna de los siguientes trabajos:

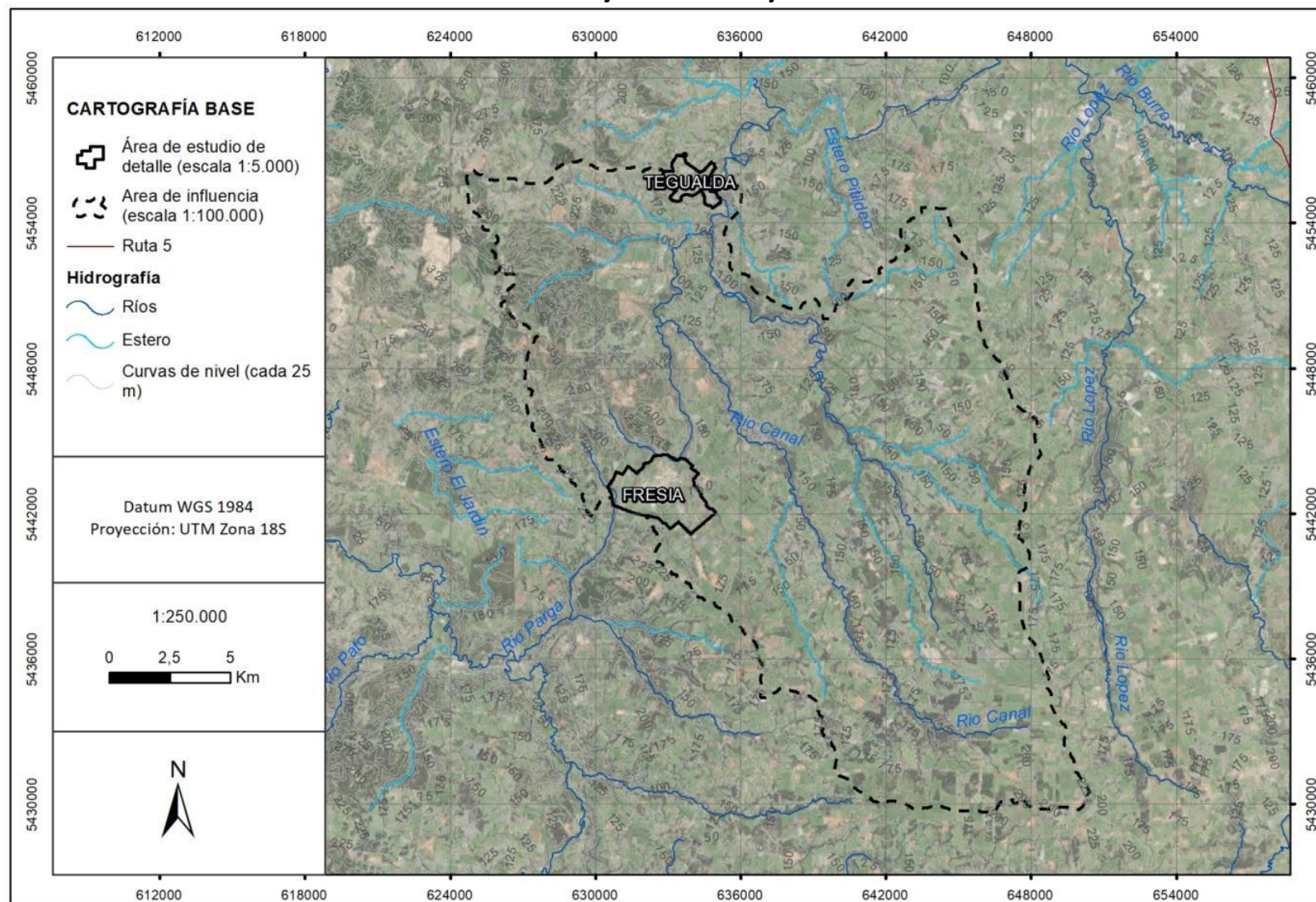
- Mapa 1: Geología y Caracterización Geoquímica de las Fuentes Termales de la Región de Los Lagos, escala 1:100.000 (Aguilera, Honores, Lemus, Neira, Pérez, & Rojas, 2014).
- Geología Preliminar del área de Fresia-Frutillar, escala 1:100.000 (Clayton & Antinao, 1998)

Para adecuar esta información a la escala de trabajo, se realizó una visita a terreno, cuyos resultados fueron complementados con la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satélites, lo cual permitió delimitar los principales contactos entre los distintos depósitos no consolidados, tales como depósitos aluviales, depósitos litorales, depósitos fluviales, depósitos glaciales y niveles aterrazados. Además se identificaron los principales cauces, sus llanuras de inundación y niveles de terrazas fluviales.

Como insumo para la definición de unidades geológicas, se utilizó información proveniente del levantamiento topográfico que se realizó en el área de estudio de detalle con motivo de este estudio, como un Modelo Digital de Terreno (DTM por sus siglas en inglés) de 1 m por pixel, curvas de nivel cada 2 m y una ortofoto digital (pixel 0,2 m). Con esta información, se construyeron cartas de parámetros morfométricos (como pendientes y relieve sombreado) que se utilizaron como apoyo para la identificación de los principales depósitos no consolidados y son considerados un factor condicionante para la elaboración de mapas de susceptibilidad.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 2-2 Áreas y escalas de trabajo de este estudio



Fuente: Elaboración propia

2.3 Catastro de peligros geológicos

La identificación y catastro de peligros geológicos se ha realizado diferenciando los procesos endógenos, que se asocian a procesos que se originan en el interior de la Tierra (sismicidad y volcanismo), de los exógenos, que se relacionan con procesos que ocurren en el exterior de la tierra, como inundaciones y remociones en masa.

El catastro tiene como objetivo recopilar antecedentes relativos a peligros que han afectado al área de estudio, con la finalidad de identificarlos, ubicarlos espacialmente y ordenarlos cronológicamente, si esto último es posible.

Los peligros geológicos catastrados corresponden a aquellos contenidos dentro del artículo 2.1.17 de la OGUC, y fueron tratados con los nombres explicados en la sección 1.4 “Marco Jurídico”, resumidos en el CUADRO N° 1-1.

2.3.1 Recopilación bibliográfica

Parte importante de los antecedentes relativos a peligros que han afectado al área de estudio se encuentran en antecedentes bibliográficos (recopilaciones históricas, archivos de prensa, publicaciones científicas, catastros de eventos peligrosos, catastro de eventos sísmicos, etc.). Se recogió información contenida en estos documentos y se sistematizó, identificando, en la medida que fuera posible, la fecha de ocurrencia y los sectores afectados.

2.3.2 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Con el fin de identificar evidencias de peligros geológicos declarados, es decir peligros geológicos que en el pasado ya se han manifestado en el área de estudio, se recopilaron fotografías aéreas e imágenes satelitales. Además, a partir de las imágenes recopiladas y de la topografía del área, se realizó el mapeo geológico y geomorfológico, donde se identificaron a una escala adecuada una serie de rasgos, tales como depósitos y cicatrices de deslizamientos. Posteriormente, estos eventos identificados se verificaron durante la visita a terreno. Estos elementos se utilizaron para evidenciar que el área de estudio ha sido afectada por procesos de remoción en masa en el pasado, y además, permitieron deducir algunas características y factores desencadenantes de estos fenómenos, información que fue utilizada para la estimación y modelado del alcance de estos procesos.

2.3.3 Catastro de factores condicionantes y desencadenantes

Con el objetivo de determinar las áreas más susceptibles, se recopiló y desarrolló una serie de mapas de factores considerados condicionantes para la ocurrencia de un peligro geológico dado. Dentro de estos se encuentran:

- Elevación, pendiente: Elaborados a partir del modelo de elevación construido por DIGIMAPAS M para este estudio.
- Litología: Corresponden a los distintos mapas geológicos recopilados, los que se aumentarán a una escala mayor en este trabajo.
- Hidrología: En base a datos de catastros públicos.

Con respecto a los factores desencadenantes, se catastraron los registros meteorológicos y sísmicos que se han reportado en el área de estudio.

2.3.4 Campaña de terreno

Como parte de este proyecto, se realizó una campaña de terreno con el objetivo de recolectar datos locales, información por parte de funcionarios municipales, verificar el catastro realizado, realizar observaciones directas de las condiciones geológicas y geomorfológicas del área estudiada y dimensionar la escala de los procesos que ocurren dentro del área del PRC de Fresia. Esta campaña de terreno fue llevada a cabo entre los días 12 y 16 de febrero de 2018. El recorrido realizado en las localidades de Fresia y Tegualda se muestra en la FIGURA N° 2-3 y la FIGURA N° 2-4, respectivamente.

2.4 *Zonificación de Susceptibilidad de Peligros Geológicos*

En consideración de la escala de trabajo elegida para el desarrollo del estudio, para la zonificación de susceptibilidad se agruparon los peligros geológicos de acuerdo a los siguientes criterios:

Peligros No Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros geológicos de Volcanismo y Sismicidad. Dada la magnitud de estos peligros, las áreas afectadas no son representables y/o diferenciables a una escala urbana (mayor a 1:10.000), y solo pueden ser analizados en un contexto regional (escala 1:100.000 o menor). Por ejemplo, toda la comuna de Fresia está expuesta de manera similar a terremotos y no se puede diferenciar, a escala urbana, cuáles áreas son más susceptibles que otras.

Peligros Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros de Remociones en Masa e Inundaciones Litorales y Terrestres. Estos peligros son representables a una escala urbana, pudiendo diferenciarse claramente, dada la escala de trabajo, que áreas son más susceptibles a la ocurrencia de un peligro geológico dado. Por ejemplo, las zonas de mayor pendiente son más favorables a la ocurrencia de deslizamientos que las áreas planas.

En el ANEXO C, se presentan las distintas metodologías utilizadas para la zonificación de los peligros geológicos considerados zonificables a la escala de trabajo elegida.

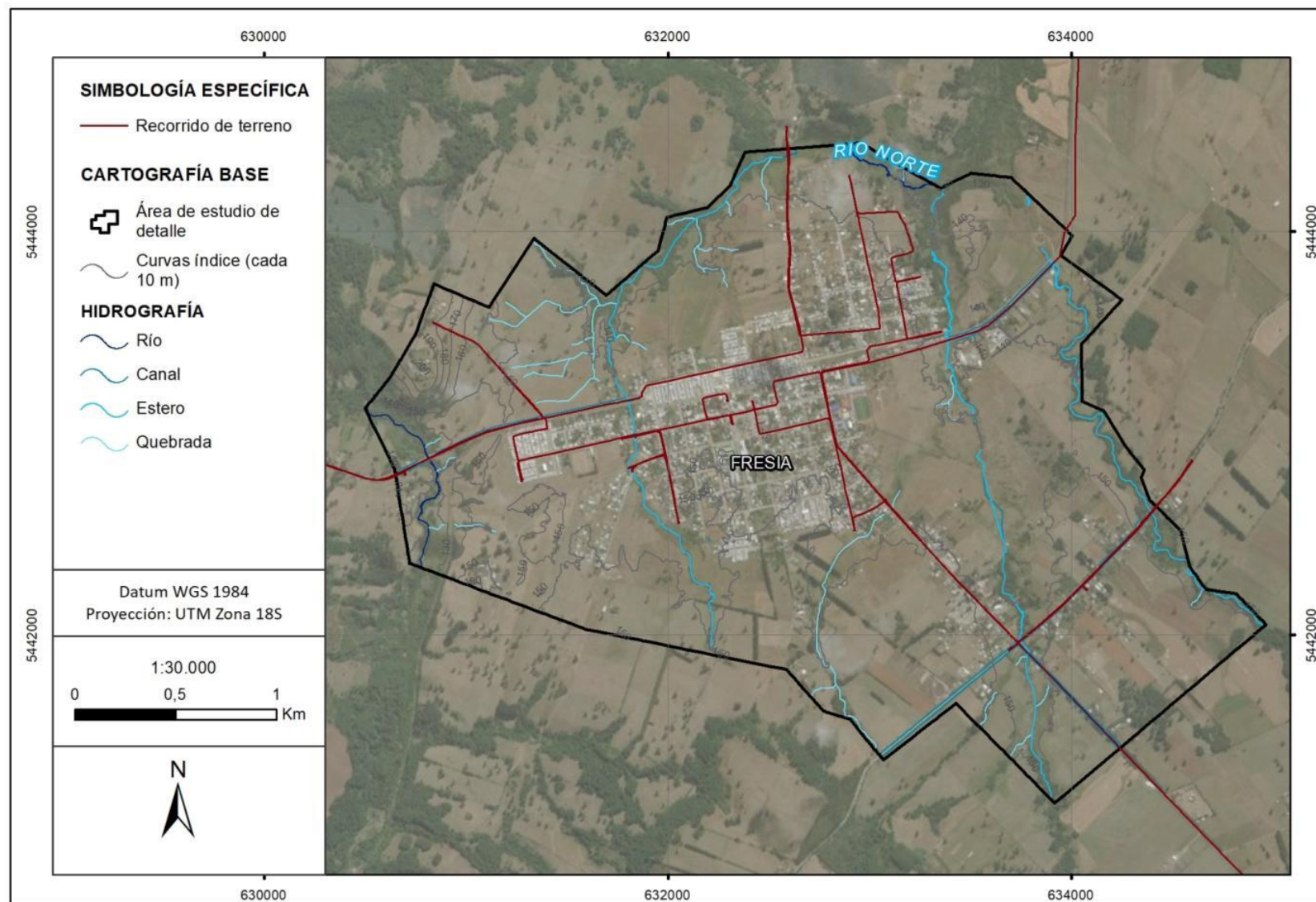
2.5 *Propuesta de criterios de zonificación urbana*

En base a los resultados de la zonificación de la susceptibilidad, se proponen criterios que restringen la utilización del área urbana según cada uno de los peligros analizados. Esto ha considerado, simultáneamente, la exposición a los peligros, es decir, que existan condiciones para que las localidades se desarrollen de manera segura, y el requerimiento de espacio para que las localidades de la comuna puedan desarrollarse.

En consecuencia, existen zonas que, pese a estar expuestas a alguno de los peligros que se analizan en este trabajo, se ha recomendado que se puedan utilizar, pero con ciertas restricciones. Lo anterior aplica para aquellos peligros que tienen un potencial menor para generar daños o que pueden afectar una porción muy grande de las localidades.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

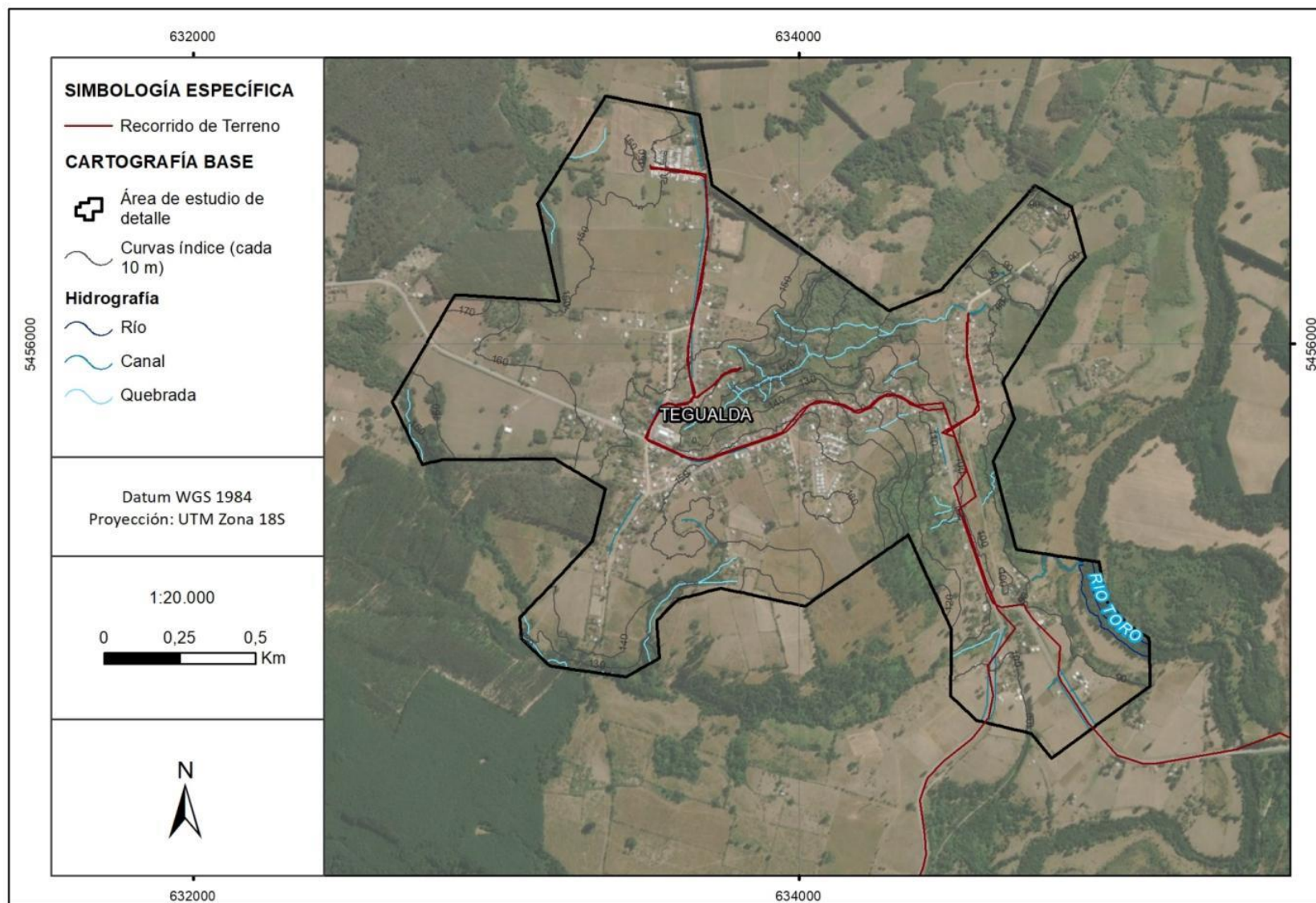
FIGURA N° 2-3 Recorrido de terreno realizado en la localidad de Fresia en febrero de 2018.



Fuente: Elaboración propia.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 2-4 Recorrido de terreno realizado en la localidad de Fresia en febrero de 2018.



Fuente: Elaboración propia.

3. LÍNEA BASE

3.1 Marco geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (FIGURA N° 3-1), donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental, con una tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994), activa al menos desde, el Jurásico (Ramos, y otros, 1986; Mpodozis & Ramos, 1989) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

El área de estudio se encuentra alrededor de los 41° 10'S, zona que se ubica dentro del esquema de segmentación andina de Mpodozis y Ramos (1989), entre los 33° y los 46°S, que corresponde a una zona de subducción tipo chilena que se caracteriza por un ángulo de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana de aproximadamente 30°. Este segmento se encuentra al sur del segmento ubicado entre los 27° S y los 33°, que se caracteriza por una subducción plana (~10°) y se encuentra aparentemente controlado por la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernández. Si se comparan ambos segmentos, se destacan las siguientes características:

1. La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado NS en el tramo de subducción plana, mientras que al sur de los 33° la costa posee un rumbo aproximado N20°E.
2. En el tramo norte, no se aprecia el desarrollo de una depresión central, en cambio se presentan valles transversales en el antearco. En cambio, en el segmento sur, en el cual se ubica la zona de estudio, se desarrolla claramente la Depresión Central, con una Cordillera de la Costa y Cordillera Principal bien definidas.
3. En el sector de subducción plana no hay registro de volcanismo Holoceno en la Cordillera Principal, mientras que en el área de estudio, el arco volcánico Holoceno se encuentra plenamente desarrollado.

FIGURA N° 3-1 Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S.



Fuente: Elaboración propia. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas

La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto del régimen de subducción es la causa de que todo Chile, hasta la península de Taitao, sea afectado frecuentemente por terremotos. La gran mayoría de estos sismos y los eventos de magnitud, se originan en la zona del contacto entre placas y corresponden a la liberación súbita de la mayor parte de la energía acumulada durante el proceso de subducción (por ejemplo, el sismo del 6 de abril de 1943 que afectó a la IV Región, el sismo del 3 de marzo de 1985 de la V región, el sismo de mayo de 1960 en Valdivia y el sismo del 27 de febrero de 2010 de la VII Región). Los esfuerzos causados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de menor magnitud

pero más destructivos localmente (por ejemplo, el sismo de Las Melosas de 1958 y el sismo de Chuzmisa de 2001). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos en la placa de Nazca una vez subductada; estos sismos pueden ser muy destructivos a pesar de no tener las mayores magnitudes (por ejemplo, el sismo de Chillán de 1939, el sismo de Punitaqui de 1997 y el sismo de Tarapacá 2005).

3.2 Marco geomorfológico y geológico

3.2.1 Marco geomorfológico y geológico regional

En la FIGURA N° 3-2 se presentan los principales elementos a escala regional que se reconocen en la comuna, como, unidades geomorfológicas, fallas activas e hidrografía.

3.2.1.1 Caracterización general

En la latitud de la comuna de Fresia, esto es aproximadamente a los 41° S, se identifican principalmente tres unidades morfológicas principales: la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera Principal, cada una de ellas con características propias. La comuna de Fresia se encuentra en las dos primeras unidades, aunque las localidades a estudiar se encuentran en la Depresión Intermedia. A continuación, se presenta una breve caracterización geomorfológica-geológica, basada en la cartografía geológica generada por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Aguilera, Honores, Lemus, Neira, Pérez, & Rojas, 2014):

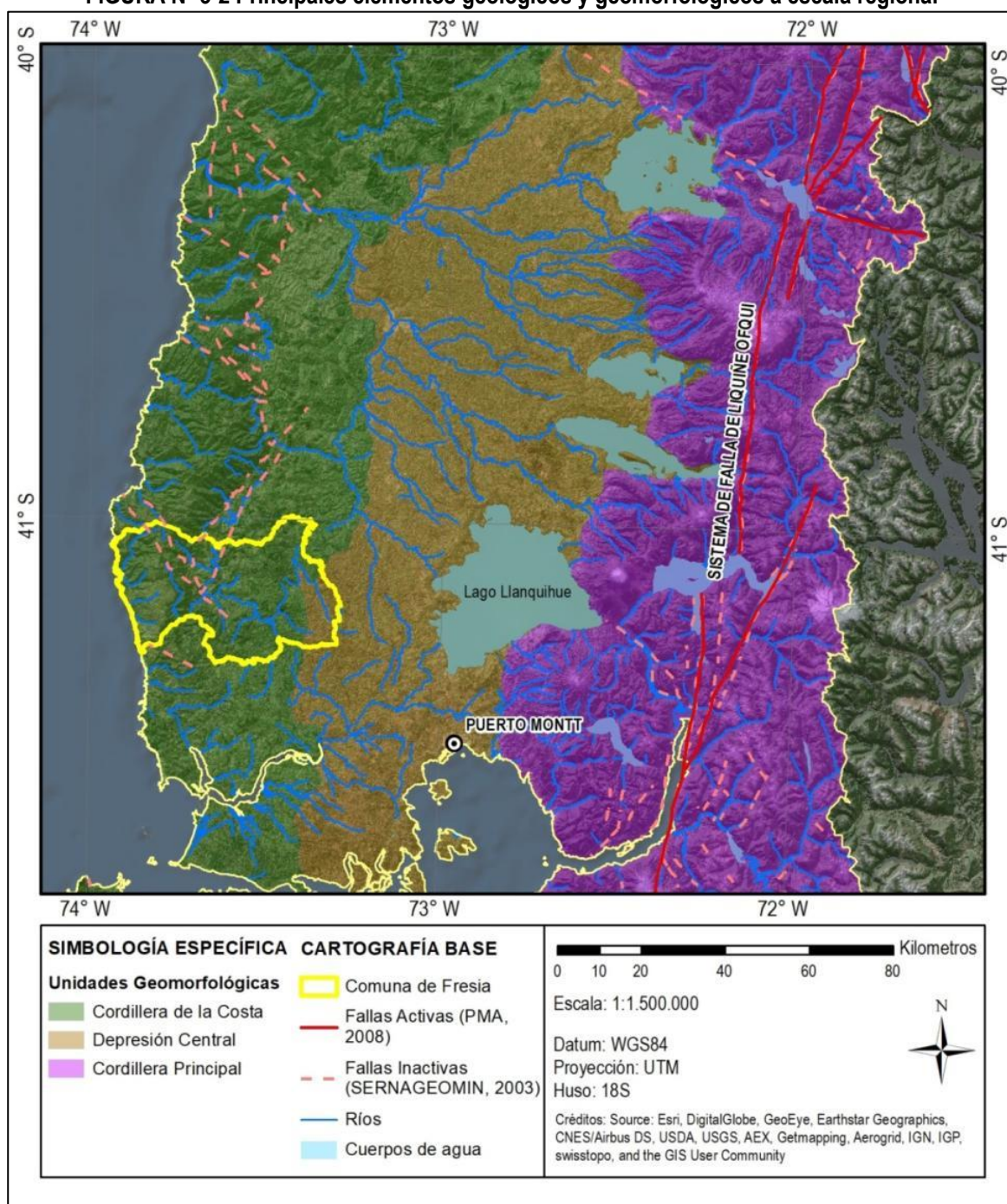
- La Cordillera de la Costa se presenta baja y ondulada dejando muy poco espacio para el desarrollo de planicies litorales en la costa. Desde el punto de vista geológico está representada, en su mayoría, por las rocas del Complejo Metamórfico Bahía Mansa (Devónico-Triásico). En esta unidad se identifican varias fallas y pliegues de orientación principal noroeste, sin evidencia de actividad cuaternaria.
- La Depresión Intermedia es amplia y poco ondulada, y se encuentra interrumpida por una serie de lagos. Está compuesta por depósitos sedimentarios de edad oligocena a miocena en los sectores más próximos a la Cordillera de la Costa y depósitos glaciofluviales y morrénicos de edad pliocena en la parte central, además de los depósitos fluviales holocenos asociados a los cauces actuales. En cuanto a las estructuras presentes en el área de estudio, existe en la zona una serie de fallas normales sin evidencia de actividad cuaternaria, la mayoría de orientación principal norte sur y algunas de orientación noroeste, que se encuentran cubiertas por el material sedimentario que cubre la Depresión Intermedia.
- La Cordillera Principal, en la parte occidental, presenta abundantes volcanes cuaternarios, asociados al Sistema de Falla de Liquiñe Ofqui, los que dan origen a abundantes depósitos, mientras que hacia el este se concentran depósitos intrusivos de edad miocena.

3.2.1.2 Fallas activas e inactivas

Dentro de la comuna no se reconocen fallas activas; sin embargo, hacia el este de la comuna se reconocen una serie de trazos de fallas activas, que forman parte del Sistema de Falla de Liquiñe Ofqui, que corresponde a la única estructura en la zona que presenta evidencia de actividad cuaternaria.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 3-2 Principales elementos geológicos y geomorfológicos a escala regional



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Glaciaciones cuaternarias

La configuración definitiva de la geomorfología y geología del territorio de la Región de Los Lagos es el resultado de la interacción de procesos volcánicos, tectónicos y glaciares. En cuanto a los procesos glaciares, el último fenómeno climático global que afectó a la región concluyó hace unos 14.000 años. Se ha logrado determinar que en el periodo Cuaternario en la Región de Los Lagos han ocurrido al menos cuatro glaciaciones, las cuales han sido estudiadas en numerosos trabajos (e.g: Weischet (1964); Olivares (1967); Mercer (1976); Porter (1981); Clapperton (1994); entre otros).

Las cuatro glaciaciones cuaternarias identificadas de más reciente a más antigua son:

1. Glaciación Llanquihue (75.000 – 14.000 años): es la glaciación que terminó de modelar la fisonomía cordillerana, la depresión intermedia y los lagos de la región. Está representada por arcos morrénicos alrededor del margen del Lago Llanquihue.
2. Glaciación Santa María (262.000 – 132.000 años): los depósitos de esta glaciación forman un arco externo al arco morrénico de la glaciación Llanquihue. Se exponen en el área de Fresia.
3. Glaciación Río Llico (480.000 – 338.000 años): es una extensa glaciación representada por una serie discontinua de morrenas y depósitos glaciares. Se expone ampliamente entre Fresia y Los Muermos.
4. Glaciación Tegalda o Caracol (687.000 – 512.000 años): es la glaciación que representa la más antigua de las derivas glaciares del cuaternario. Sus depósitos se encuentran cerca de los pueblos de Fresia y Tegalda en un alto topográfico que aparece entre 200 y 350 m s. n. m.

Los depósitos glaciares asociados a estas glaciaciones se encuentran sobre toda la Depresión Central. Los estudios realizados en la región permitieron la definición de las cuatro glaciaciones mencionadas y de sus respectivos depósitos, para ello se consideraron diferentes criterios. Porter (1981) clasifica los depósitos glaciares en función de sus características físicas: espesor, grado de meteorización, morfología de la superficie, grado de deposición de óxidos de manganeso, el desarrollo de capas de óxidos de hierros, el color dominante, la humedad, y el espesor de loess. También pueden considerarse criterios como el desarrollo de suelos, el grado de incisión de drenajes, relaciones de corte, etc. Se destacan las siguientes características:

- Los depósitos más recientes muestran clastos y matriz más frescos, por el contrario, los clastos pertenecientes a periodos glaciares más antiguos muestran cáscaras de meteorización, es decir, mientras más antigua sea la glaciación los clastos exponen un mayor grado de meteorización.
- Lo mismo ocurre con la presencia de óxidos de manganeso y hierro, los cuales aparecen de forma intensa en los depósitos de la glaciación cuaternaria más antigua –Glaciación Tegalda- y se encuentran ausentes en la glaciación más reciente –Glaciación Llanquihue-.
- El grado de incisión de la red de drenaje permite identificar cuales depósitos son más antiguos, pues exhiben redes mucho más cortadas que los depósitos recientes.
- Por otro lado, el desarrollo de suelos orgánicos presenta centímetros de espesor en los depósitos de la última glaciación y aumenta considerablemente para los depósitos de las glaciaciones antiguas.
- Las glaciaciones antiguas fueron más intensas y por tanto tuvieron mayor alcance, llegando más cerca de la Cordillera de la Costa. Debido a lo anterior al desplazarse de este a oeste los depósitos glaciares encontrados son más antiguos.
- Finalmente, la preservación de morfologías glaciares como crestas morrénicas, pendientes de contacto con el hielo, canales de desagüe glacial, drumlins, lagunas tipo kettle, entre otras, se encuentran mejor preservadas en glaciaciones más recientes, como la glaciación Llanquihue y desgastadas en las glaciaciones más antiguas.

3.2.2 Geología local

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

Primeramente, para establecer un contexto geológico para el análisis en detalle, se definieron unidades geológicas a escala 1:100.000 en el área de influencia de este estudio (FIGURA N° 3-3). Posteriormente, se afinaron los límites de estas unidades y se definieron algunas nuevas (considerando los insumos del levantamiento topográfico con información de detalle), resultando como consecuencia la geología a escala 1:5.000 del área de estudio de detalle de Fresia y Tegualda (representado a escala 1:20.000 en FIGURA N° 3-4 y FIGURA N° 3-5, respectivamente).

Las unidades geológicas que se identificaron en el área de Fresia y Tegualda, corresponde a una serie de depósitos semi-consolidados y no consolidados, cuyo origen se asocia a la interacción de glaciares durante el cuaternario con unidades rocosas más antiguas, y a procesos fluviales y aluviales que han ocurrido en el presente. Estas unidades aparecen tanto en el área de influencia como en el área de estudio de detalle; solo en algunos casos, se distinguen unidades más precisas que no se observan a escala 1:100.000. Se reconocen, por lo tanto, las siguientes unidades.

3.2.2.1 Depósitos no consolidados

3.2.2.1.1 Depósitos aluviales actuales (*Ha*) (Holoceno):

Corresponden a depósitos polimícticos, clasto soportados, macizos y en parte estratificados. Estos sedimentos rellenan quebradas secundarias cuyos cauces son generalmente esporádicos y tributan hacia los ríos y esteros principales. Estos eventos esporádicos de transporte de agua controlan la deposición de dichos sedimentos. Geomorfológicamente se caracterizan como un canal, en cuya desembocadura hacia los valles principales suele haber un abanico aluvial, el cual se genera por el cambio de pendiente del cauce.

3.2.2.1.2 Depósitos fluviales (*Hf*, *Hf2*) (Holoceno)

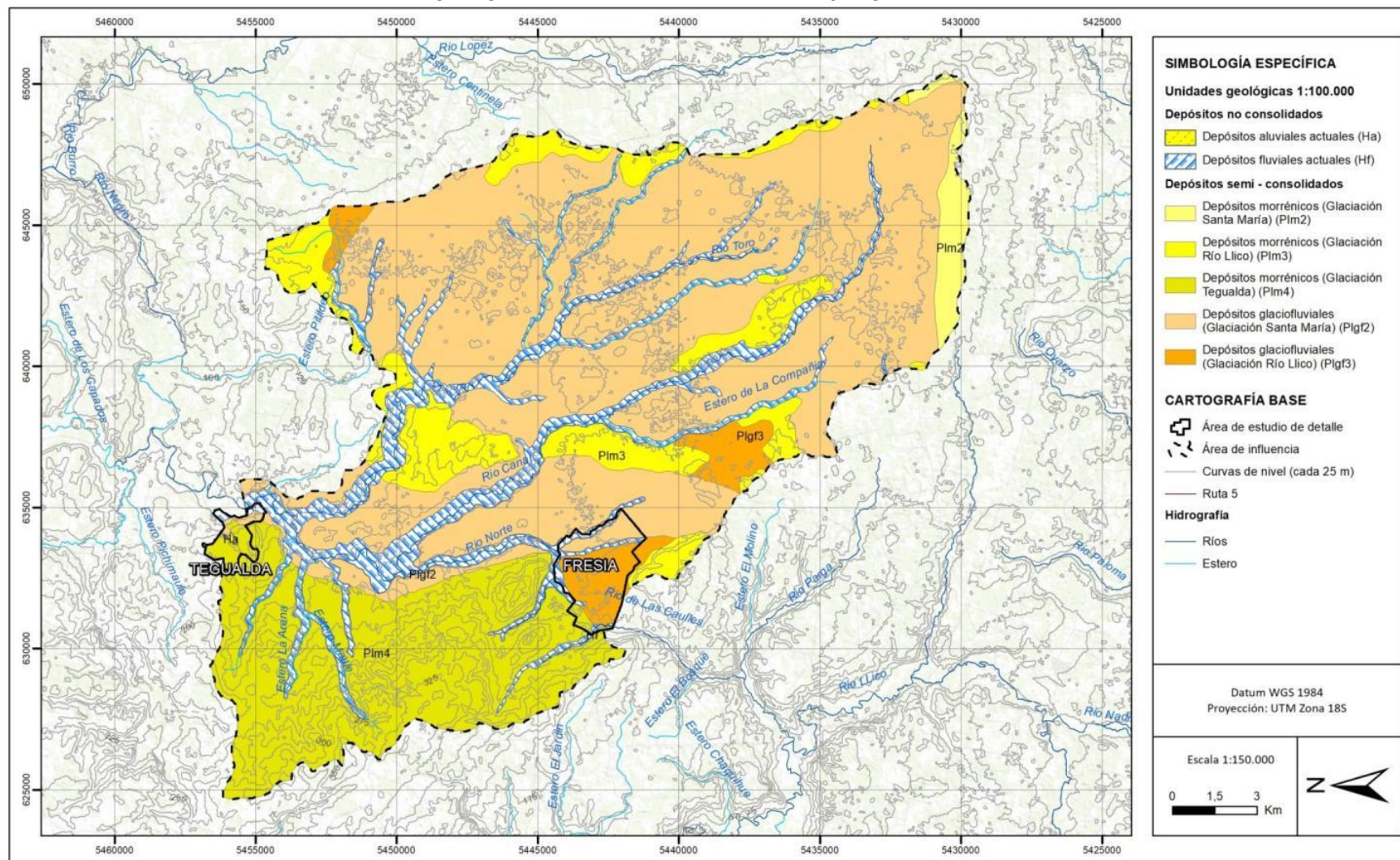
Están compuestos de gravas y arenas moderadamente bien seleccionadas, redondeadas e imbricadas, con matriz de arenas gruesas y medias. Morfológicamente se presentan formando los cauces de los ríos actuales, así como también sus terrazas. A una escala local (1:5.000), se han podido diferenciar de acuerdo a su temporalidad y morfología en los siguientes grupos.

- Depósitos fluviales actuales (*Hf*): corresponden a depósitos de los cauces fluviales que conforman el lecho actual de los ríos Canal, Toro, Norte, de Las Caulles, sus afluentes y esteros. Morfológicamente se presentan formando canales y barras.
- Depósitos fluviales recientes (*Hf2*): unidad de sedimentos que se encuentra aterrazada a lo largo de los márgenes de la unidad de depósitos fluviales actuales del río de Las Caulles y de un afluente norte-sur del río Norte. Se encuentran formando terrazas de aproximadamente de 2 metros de alto por sobre el lecho actual de los ríos antes mencionados, ambos pertenecientes al área local de Fresia.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

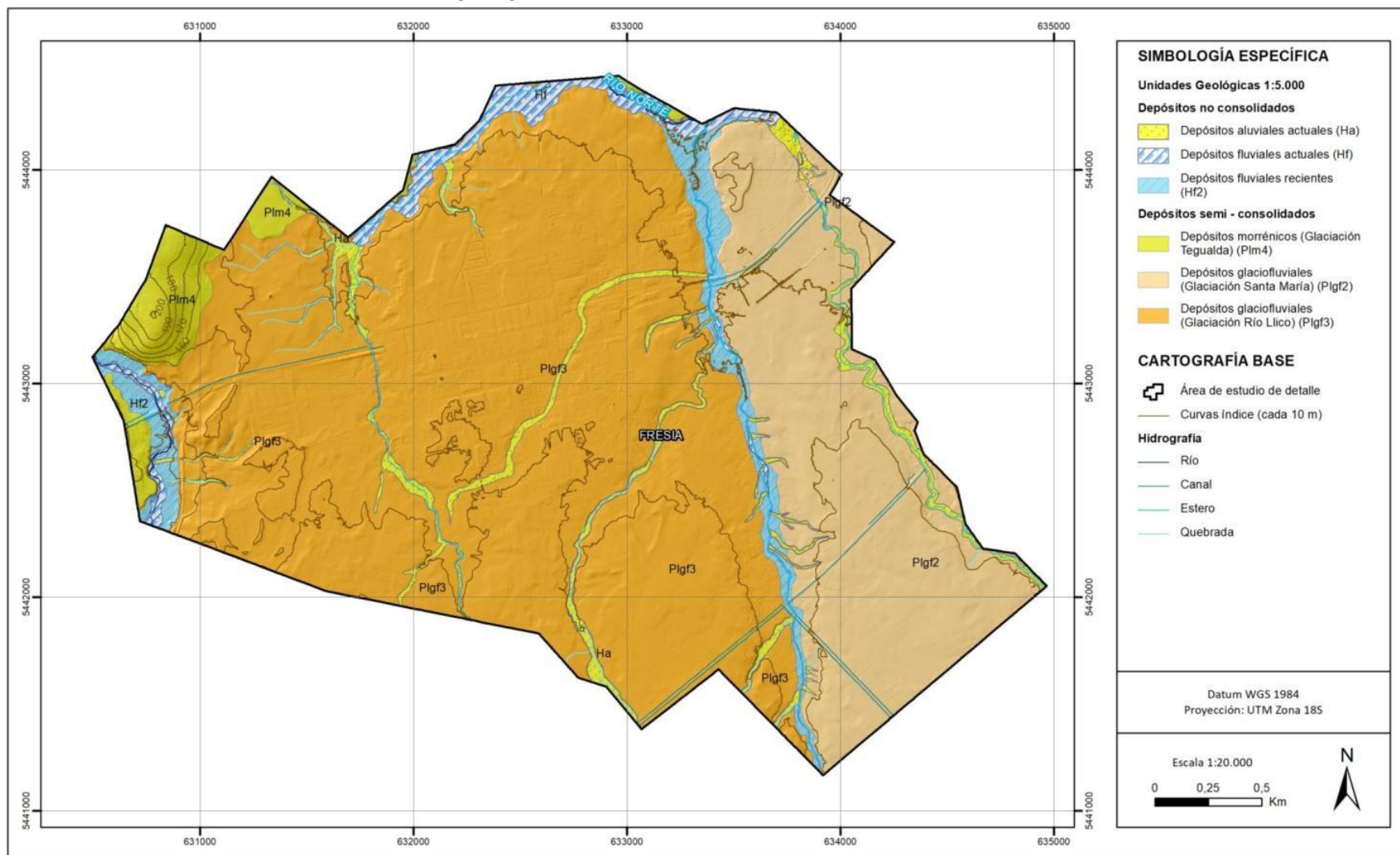
FIGURA N° 3-3 Mapa de geología en el área de influencia de Fresia y Tegualda elaborado a escala 1:100.000.



Fuente: Elaboración propia

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA MEMORIA EXPLICATIVA

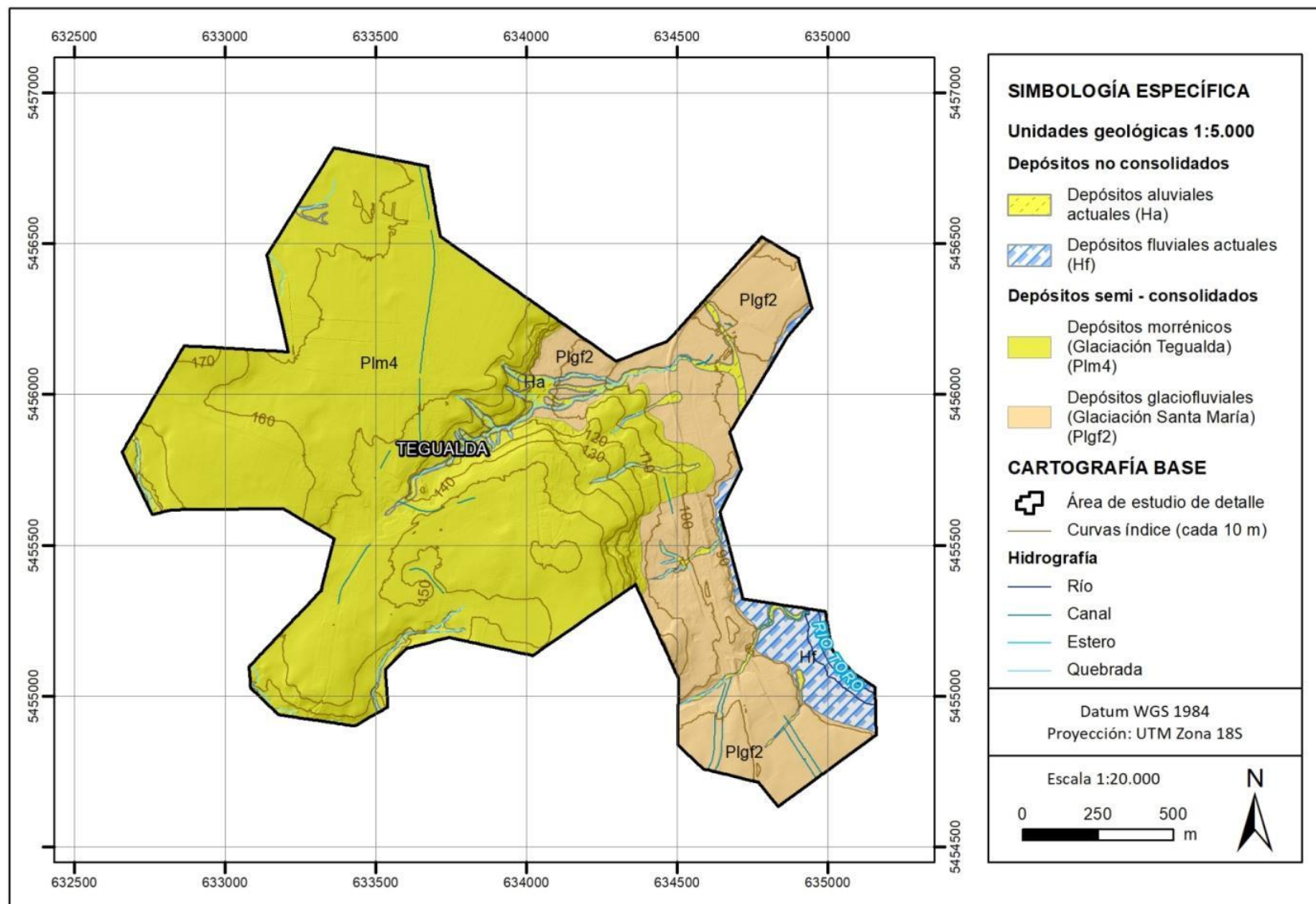
FIGURA N° 3-4 Mapa de geología en el área de estudio de detalle de Fresia elaborado a escala 1:5.000.



Fuente: Elaboración propia

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 3-5 Mapa de geología en el área de estudio de detalle de Tegualda elaborado a escala 1:5.000.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Depósitos semi – consolidados

En el área de estudio se encuentran depósitos morrénicos y glaciofluviales, cuya formación se asocia a alguna de las cuatro glaciaciones reconocidas (eg. Aguilera et al., 2014), que de la más joven a más antigua corresponden a: (1) Glaciación Llanquihue [75.000-13.900], (2) Glaciación Santa María [262.000-132.000], (3) Glaciación Río Llico [480.000-338.000], y (4) Glaciación Tegalda [687.000-512.000] (ver sección 3.2.1.3).

3.2.2.2.1 Depósitos morrénicos (*Plm*) (Pleistoceno)

Depósitos de till mal seleccionados, mal estratificados, matriz soportados, con clastos que varían desde bolones hasta gravas finas en una matriz arcillosa. Localmente, en el área de estudio de Fresia y Tegalda afloran los depósitos morrénicos asociados a la Glaciación Tegalda (*Plm4*). Mientras que en el área de influencia de ambas, los asociados a la Glaciación Santa María (*Plm2*), Glaciación Río Llico (*Plm3*) y Glaciación Tegalda (*Plm4*).

3.2.2.2.2 Depósitos glaciofluviales (*Plgf*) (Pleistoceno)

Estos depósitos están constituidos por Arenas y gravas moderadamente a bien seleccionadas (Clayton & Antinao, 1998). Evidencian buena estratificación planar horizontal, canales cruzados, grano decreciente y masivo. Localmente, en el área de estudio de Fresia afloran los depósitos glaciofluviales asociados a la glaciación Santa María (*Plgf2*) y Glaciación Río Llico (*Plgf3*), y en el área de estudio de Tegalda los asociados a la Glaciación Santa María (*Plgf2*). Mientras que en su área de influencia aparecen los asociados a la Glaciación Santa María (*Plgf2*) y Glaciación Río Llico (*Plgf3*).

Cabe mencionar que la presencia de estos sedimentos glaciales antiguos permite la formación de *suelos rojos arcillosos*, los cuales se caracterizan por presentar a los 30 cm (de profundidad) una acumulación de arcilla que determina una baja infiltración del agua en profundidad (Sierra, 1982). Lo cual se traduce en una alta escorrentía superficial para zonas de alta pendiente (Sierra, 1982).

3.2.3 Geomorfología local

3.2.3.1 Parámetros morfométricos

A partir de los modelos de elevación DTM de las localidades de Fresia y Tegalda, se elaboraron cartas de elevaciones y de pendientes, para ambas áreas de estudio de detalle.

La localidad de Fresia tiene una distribución de altitudes que va desde los 123.644 m s. n. m. a los 200.137 m s. n. m. Gran parte del área se encuentra a altitudes entre los 140-150 m s. n. m (FIGURA D-1 en ANEXO D). Hacia los límites del área las altitudes varían, hacia el norte y al oeste se observan las menores altitudes en los cauces de los drenajes, y las mayores elevaciones se encuentran en el extremo noreste del área en un alto que supera levemente los 200 metros s. n. m.

En la carta de pendientes de la localidad de Fresia los valores de las pendientes van de 0° a los 74° aproximadamente, con un promedio de 3°. Por lo anterior, se observa que la mayor parte de la localidad se emplaza sobre pendientes menores a 15°, es decir en sectores planos (FIGURA D-2 en ANEXO D). Los aumentos de pendiente sobre los 15° tienen una distribución similar a las mayores altitudes, es decir, se encuentran hacia el extremo oeste del área de estudio de detalle, en la ladera sur del alto topográfico previamente mencionado.

Por otro lado, la localidad de Tegalda presenta altitudes desde los 87.433 m s. n. m. a los 174.565 m s. n. m. La distribución general de altitudes en el área de estudio de detalle muestra una disminución en la elevación de oeste a

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

este (FIGURA D-3 en ANEXO D). Las menores altitudes al este del área se relacionan con la presencia del Río Toro y sus riberas. Cerca de la mitad del área exhibe alturas sobre los 140 metros s. n. m. que aumentan hasta superar los 170 metros s. n. m. debido al relieve de la Cordillera de la Costa.

La localidad de Tegualda muestra pendientes desde 0° a 79° aproximadamente, con un promedio de 5.5°. La mayor parte del área de estudio se dispone en zonas con pendiente entre 0°-15° (FIGURA D-4 en ANEXO D). Las pendientes mayores se encuentran en las quebradas de orientación suroeste-noreste del área de estudio; en las laderas del relieve de mayor altura, entre las cotas de los 100 y los 150 m s. n. m; y en el extremo suroeste del área de estudio de detalle.

3.2.3.2 Formas reconocidas en terreno

Fresia y Tegualda presentan formas bastante diferentes entre sí. Mientras Fresia presenta pendientes mayoritariamente bajas con una mayoría de cauces poco profundos que atraviesan la localidad completa, Tegualda presenta pendientes más bien altas, con pocos cauces bastante profundos.

3.2.3.2.1 Red de drenaje y niveles aterrizados

La red de drenaje de Fresia está definida en base a dos cauces principales: el río Norte, ubicado al norte de Fresia, y el río de Las Caulles, ubicado al oeste. El río Norte descarga sus aguas en el río Canal, que a su vez es afluente del río Toro, que continúa hasta Tegualda. El río de Las Caulles descarga al río Parga, que a su vez es afluente del río Llico.

La mayor parte de Fresia descarga sus aguas a través de la red de drenaje asociada a tres cauces sin nombre, con escurrimiento permanente, de dirección predominante sur-norte y que descargan al río Norte, los que, a su vez, reciben aportes de otros cauces menores, especialmente cuando ocurren precipitaciones. El río Norte se encuentra alrededor de 8-12 m por debajo del nivel de depósitos glaciofluviales en donde está construido Fresia y, en las proximidades de esta localidad forma niveles de terrazas de anchos entre 50 y 100 m, con abundante vegetación. Las principales características de los tres cauces que descargan al río Norte son las siguientes:

- El primero escurre al oeste de la calle Caupolicán, desde la altura de la calle San Martín hacia el sur es amplio y bastante profundo, mientras que hacia el norte de esta calle tiene un cauce más estrecho y se encuentra intervenido, especialmente entre la calle San Carlos y la Ruta V-46.
- El segundo atraviesa el sector de Las Beatas y continúa hacia el norte al este del área consolidada de Fresia. Presenta un cauce bien marcado en la parte alta, y con desarrollo de niveles más altos (terrazas) en su entorno hacia la parte baja. En general no se encuentra muy intervenido, excepto en los cruces con las obras de vialidad. Recibe aportes de dos cauces que atraviesan Fresia.
- El tercero se encuentra en el límite este del área de estudio, y prácticamente no se encuentra con zonas urbanizadas.

El río Las Caulles se encuentra en el límite occidental de Fresia, donde forma un nivel aterrizado con abundante vegetación, a unos 20 m por debajo de la localidad. La red de drenaje ubicada al este del cauce consiste en cauces de extensión menor que 1 km, con pendientes muy altas.

La red de drenaje de Tegualda está formada por pequeñas quebradas sin nombre, que descargan sus aguas hacia el río Toro, que es afluente del río Negro, que a su vez descarga en el río Rahue, y finalmente lo hace en el río Bueno. En el área de Tegualda, el río Toro escurre a una cota cercana a 88 m s. n. m., mientras que los cerros ubicados a su oeste, que corresponden a la zona donde se emplaza la localidad, llegan hasta 160 m s. n. m. en una distancia relativamente corta (del orden de 1 km), lo que hace que las quebradas que se encuentran en Tegualda

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

tengan pendientes relativamente altas y cuencas aportantes pequeñas. Estas quebradas presentan abundante vegetación, y al llegar a la parte baja de la localidad se encuentran bastante intervenidas.

En la parte baja, existe un nivel de terrazas asociado al río Toro, que tienen una extensión que puede alcanzar los 700 m y una pendiente de hasta 3° en dirección hacia el río.

3.2.3.2.2 Laderas

En Fresia, las laderas existentes en el área de estudio se asocian principalmente a:

- Los escarpes que bordean a los ríos Norte y Las Caulles y a la quebrada sin nombre ubicada al centro de la localidad, tanto en el cauce actual como en los niveles aterrizados. En el primero de estos cauces se encuentran pendientes máximas del orden de 25°, mientras que en el segundo las pendientes pueden llegar hasta 65°.
- El cerro ubicado al noroeste de Fresia, que tiene pendientes máximas del orden de 50°.
- Zonas de pendiente elevada asociadas a obras de infraestructura, como pasos sobre nivel o terraplenes.

En Tegualda, las laderas existentes se asocian a:

- Los cerros donde se emplaza la localidad y desde donde nacen las quebradas que existen en ella, donde se tienen pendientes máximas de aproximadamente 60°.
- Zonas de pendiente elevada asociadas a obras de infraestructura, como pasos sobre nivel o terraplenes.

3.3 Marco climático

El clima de la comuna se clasifica como templado lluvioso con influencia mediterránea, y se caracteriza por presentar una distribución de precipitaciones continua durante todo el año, con valores en los períodos de verano relativamente bajos con respecto al invierno, aunque no es posible distinguir una estación seca (incluso en los meses más secos, los totales mensuales son superiores a 50 mm). Para caracterizar las precipitaciones en el comuna, se han utilizado los registros de la estación Fresia (código BNA 10350001-K, CUADRO N° 3-1), con registro entre 1993 y 2017, donde la suma de las precipitaciones medias mensuales son del orden de 1.575 mm.

En cuanto a las temperaturas, el clima en esta zona se caracteriza porque la diferencia entre el mes más frío y el más cálido es del orden de 7 a 12 °C, siendo mayores los valores en la zona de la cordillera, mientras que la amplitud térmica diaria varía entre 8 y 11 °C. La temperatura media anual oscila entre 9 y 12 °C.

CUADRO N° 3-1 Resumen de las precipitaciones en la estación Fresia

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Datos	24	24	24	24	24	23	23	24	24	24	24	24
Promedio (mm)	64,6	54,2	76,8	129,8	199,8	256,0	228,1	204,0	113,0	103,6	81,2	64,7
Máximo (mm)	186,0	149,8	151,5	262,3	423,4	485,9	456,5	341,6	192,0	288,9	135,9	215,5
Mínimo (mm)	6,8	13,6	30,3	47,7	31,7	71,2	91,2	45,2	40,9	28,4	15,8	6,8

Fuente: Elaboración propia

3.4 Marco hidrológico

Para representar las precipitaciones en la comuna, se ha utilizado el registro de estación meteorológica Fresia (código BNA 10350001-K), con registro entre 1993 y 2017. En base a esta información, en el CUADRO N° 3-2 se presentan las precipitaciones máximas esperadas para distintos períodos de retorno. Se observa que la precipitación máxima anual en 24 horas asociada a un período de retorno de 50 años es aproximadamente un 50% mayor que la de un período de retorno de 2 años, lo que indica que existen pocas variaciones en este parámetro de un año a otro.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

CUADRO N° 3-2 Precipitaciones máximas esperadas en 24 horas para distintos períodos de retorno en la estación Fresia.

Probabilidad de no excedencia	Período de retorno (años)	Precipitación (mm)
50%	2	61,0
80%	5	75,4
90%	10	79,4
95%	20	88,0
98%	50	91,5

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los caudales, existe una estación ubicada en el río Toro en Tegualda (código BNA 10351001-5), con registro entre los años 2000 y 2011. Los caudales representativos, calculados en base a los medios diarios medidos en esta estación, se resumen en el CUADRO N° 3-3. La época de mayor caudal ocurre durante el invierno, con un peak en junio, mientras que la época de menor caudal corresponde al mes de enero, lo que indica que este río tiene un régimen pluvial.

CUADRO N° 3-3 Valores representativos de los caudales medidos en la estación fluviométrica Río Toro en Tegualda

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Datos	10	11	11	11	12	11	11	12	12	11	11	11
Caudales medios												
Promedio (mm)	1,6	1,0	1,5	2,6	7,8	16,3	22,2	20,0	11,9	7,9	5,2	2,6
Máximo (mm)	3,0	2,0	3,7	5,4	21,6	30,1	38,6	32,3	18,7	25,3	11,4	3,8
Mínimo (mm)	0,6	0,4	0,5	1,2	1,9	6,3	11,8	8,7	7,7	3,8	3,0	1,2
Caudales máximos												
P. Ex. = 50%	1,5	0,9	1,1	2,3	5,6	13,9	25,2	20,4	10,6	6,6	4,9	2,6
P. Ex. = 80%	2,0	1,2	1,7	3,0	10,7	25,3	30,2	26,9	15,8	8,0	5,7	3,5
P. Ex. = 90%	2,6	1,7	2,1	5,0	17,9	26,3	30,6	28,7	16,6	9,3	6,9	3,7

Fuente: Elaboración propia

4. INUNDACIONES TERRESTRES

Como su nombre lo indica, las inundaciones por desborde de cauce 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. Este peligro se describe en detalle en el ANEXO B.2.1.1.

Las inundaciones por anegamientos se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y/o deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Se describe con mayor detalle en el ANEXO B.2.1.2.

A continuación, se presenta un catastro de los eventos de inundaciones terrestres que han afectado al área de estudio (sección 4.1), un diagnóstico sobre los peligros de inundaciones y, de manera independiente, un diagnóstico y una zonificación de susceptibilidad de inundaciones por desborde de cauce (sección 4.2) y de procesos de laderas (sección 4.3).

4.1 *Catastro de inundaciones terrestres*

4.1.1 Fuentes de información consultadas

Las fuentes de información consultadas consisten en antecedentes bibliográficos (Urrutia & Lanza, 1993), catastros de eventos peligrosos elaborados por servicios públicos e instituciones privadas (ONEMI (2002)², (2009)³; DESINVENTAR⁴⁵), registros de prensa (www.paislobo.cl⁶, www.paislobo.cl⁷, www.semanariolocal.cl⁸, www.fotonoticia.cl⁹) e información recopilada durante la campaña de terreno, ya sea mediante observaciones directas, comunicación con pobladores locales de los sectores recorridos o a través de reuniones con el Sr. Gonzalo Día, Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Fresia.

² <http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/206/ONE1019.pdf?sequence=1>, consultado el 24-10-2017.

³ http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/430/SistemasFrontales2008_LosLagos.pdf?sequence=1, consultado el 24-10-2017.

⁴ Sistema de Inventario de Efectos de Desastres

⁵ <http://online.desinventar.org/>

⁶ <http://www.paislobo.cl/2011/07/inundaciones-por-fuertes-lluvias.html>, consultado el 24-10-2017.

⁷ <http://www.paislobo.cl/2014/06/informan-de-la-situacion-actual-de-la.html>, consultado el 24-10-2017.

⁸ <http://www.semanariolocal.cl/archivos/11361>, consultado el 24-10-2017.

⁹ <http://www.fotonoticia.cl/2017/08/temporal-provoco-inundaciones-y-caida.html>, consultado el 24-10-2017

4.1.2 Catastro

En los antecedentes históricos se encuentra poca información acerca de inundaciones ocurridas en la comuna de Fresia, sin embargo, en los últimos años se encuentra una mayor cantidad de antecedentes, principalmente en la prensa.

En el CUADRO E-1 (ANEXO E) se indica una serie de eventos de inundaciones que han afectado a la comuna de Fresia y alrededores desde el año 1877 hasta el 2017.

Considerando la información recogida en terreno, se realizó una compilación en conjunto de los eventos de inundaciones y remociones en masa, considerando todas las fuentes de información consultadas (Sección 4.1.1), separando los puntos catastrados por sectores. Esta información se presenta en el CUADRO N° 4-1 y en la FIGURA N° 4-1 para la localidad de Fresia, y en el CUADRO N° 4-2 y en la FIGURA N° 4-2 para la localidad de Tegalda, como se indica a continuación:

- En el CUADRO N° 4-1 (localidad de Fresia) y CUADRO N° 4-2 (localidad de Tegalda) se indica cada punto catastrado asociado a un sector en particular, una breve descripción del evento, el peligro geológico identificado, si la ubicación del punto es referencial o exacta y, por último, cuál es la fuente de información de cada punto catastrado.
- En la FIGURA N° 4-1 (localidad de Fresia) y FIGURA N° 4-2 (localidad de Tegalda) se ubican espacialmente los puntos catastrados de los cuadros anteriores, separados por sectores, e indicando la fuente de información de la cual provienen (con colores diferentes).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

CUADRO N° 4-1 Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Fresia.

Sector en FIGURA N° 4-1	Punto de catastro	Sector afectado	Descripción del evento	Peligro geológico identificado	Ubicación	Fuente de información
Sector 01: Cruce Beatas con Camino Polizones	F-01	Camino polizones (Ruta V-300)	Este sector se inunda por las construcciones, ocasionando un cuello de botella.	Anegamiento	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
Sector 02: Cuatro Vientos Las Beatas	F-02	Sector Ruta V-300 inters. Ruta V-30	Se nota que han limpiado este cauce para que el agua escurra más fácilmente. Según el relato de un vecino, cuya casa está ubicada inmediatamente al S de esta esquina, se inunda sobre la carretera (FIGURA N° 4-3), debido a que la capacidad de obras de arte es insuficiente. El agua subterránea va como a 1m.	Inundación por desborde de cauce	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
	F-03	Sector Ruta V-300 inters. Ruta V-30	Este sector se inunda cada vez que llueve. Además, el EE* señala que proviene más agua desde la orilla de la carretera que de los esteros.	Inundación por desborde de cauce	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
Sector 03: Ruta V-30 con calle Santana	F-04	Sector Ruta V-30, unos 40 m al sur de la calle Santana	El estero que fluye por este sector pasa justo por la casa de un vecino (por su patio, al costado de la casa) (FIGURA N° 4-4). Él contaba que su casa se inunda cada vez que llueve.	Inundación por desborde de cauce	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
	F-05	Sector Ruta V-30, unos 40 m al sur de la calle Santana	Este sector se inunda por el estero cada vez que llueve.	Inundación por desborde de cauce	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
	F-06	Extremo sur de la calle O'Higgins	En este sector, donde hay una cancha, el agua va entubada por un ducto que va por debajo de la cancha (bajo la superficie).	-	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
Sector 04: Sector centro-sur de Fresia	F-07	Sector centro-sur del centro de Fresia	El EE* comenta que hay un estero en este sector que no se ve en superficie, puesto que fue rellenado. En todo este sector se generan zonas de anegamiento frecuentemente. Señala, además, que la trayectoria original de este cauce atravesaba este sector en dirección SW-NE, desembocando en un afluente (N-S) del Río Norte.	Anegamiento	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
	F-08	Sector centro-sur del centro de Fresia	Esta esquina suele inundarse, especialmente el costado SW que tiene una casa construida en un área deprimida (bajo 1,5m aprox.) (FIGURA N° 4-5). El agua se estanca y no fluye hacia el NE (como el cauce original) porque el terreno está topográficamente más elevado.	Anegamiento	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
	F-09	Sector centro-sur del centro de Fresia	Este es otro de los sectores que suelen anegarse debido al estero que fue rellenado. Se ve un sauce al costado sur de	Anegamiento	Exacta	Observaciones recogidas en

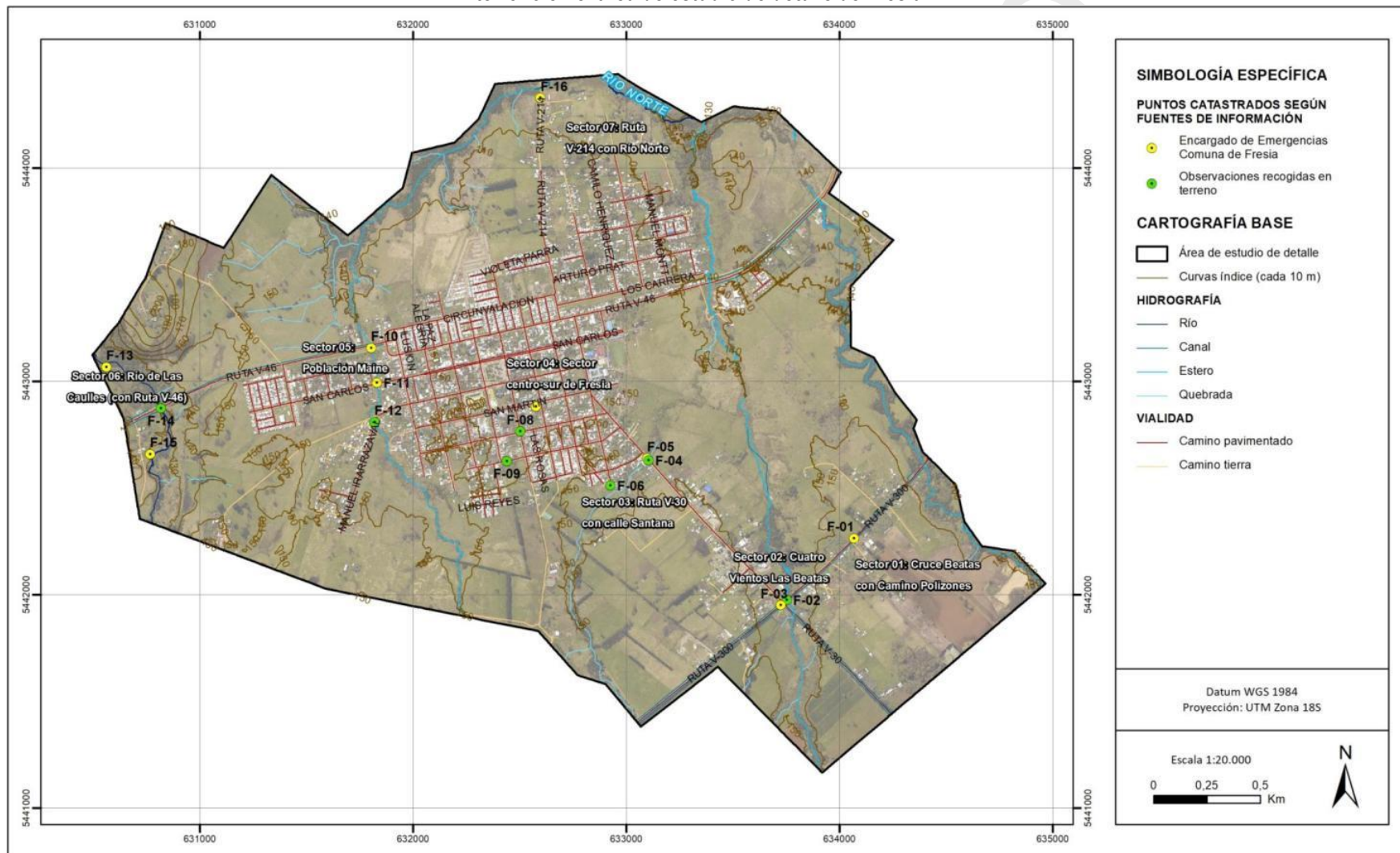
PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Sector en FIGURA N° 4-1	Punto de catastro	Sector afectado	Descripción del evento	Peligro geológico identificado	Ubicación	Fuente de información
			la calle Juan Schweter, lo que indica presencia de agua.			terreno
Sector 05: Población Maine	F-10	120 m al oeste de la inters. Calle San Carlos con Caupolicán	La Población Maine se construyó sin alcantarillado, sin mitigación para peligros de aguas lluvias. Construcción genera cuello de botella con aguas del estero provenientes desde el sur y con aguas provenientes desde las calles del centro (desde el E).	Anegamiento	Exacta	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
	F-11	70 m al oeste de la inters. Ruta V-46 con Circunvalación	Sobre este terraplén pasaba la línea del tren. Al sur del terraplén, se genera un cuello de botella, debido a que la cuneta de la alcantarilla está muy alta y, por ende, se acumulan las aguas del estero provenientes desde el sur.	Anegamiento	Exacta	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
	F-12	30 m al SW de la inters. de la calle Manuel Irrázaval con Camino Vec. Poniente	En este cauce se observa que fluye muy poca agua hacia el N y alimenta al Río Negro. Tiene aprox. 1 m de profundidad desde la superficie hasta el fondo del canal. De este estero provienen las aguas que inundan el Sector de la Población Maine cuando llueve mucho.	Anegamiento	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
Sector 06: Río de Las Caulles (con Ruta V-46)	F-13	Sector Río de las Caulles, unos 280 m al norte de la Ruta V-46	Zona de humedales, según EE*.	-	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
	F-14	Ruta V-46, por donde pasa el Río de las Caulles	Se observa una bóveda cuadrada de 2 m de ancho por 2,5 m de alto.	-	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
	F-15	Sector Río de las Caulles, unos 180 m al sur de la Ruta V-46	Zona de humedales, según EE*.	-	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
Sector 07: Ruta V-214 con Río Norte	F-16	Sector Ruta V-214 inmediatamente al sur del Río Norte	Según el EE*, este sector se inunda recurrentemente.	Inundación por desborde de cauce	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en el cuadro. EE*: Encargado de Emergencias

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 4-1 Mapa de catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Fresia.



Fuente: Elaboración propia a partir de información detallada en el CUADRO N° 4-1.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

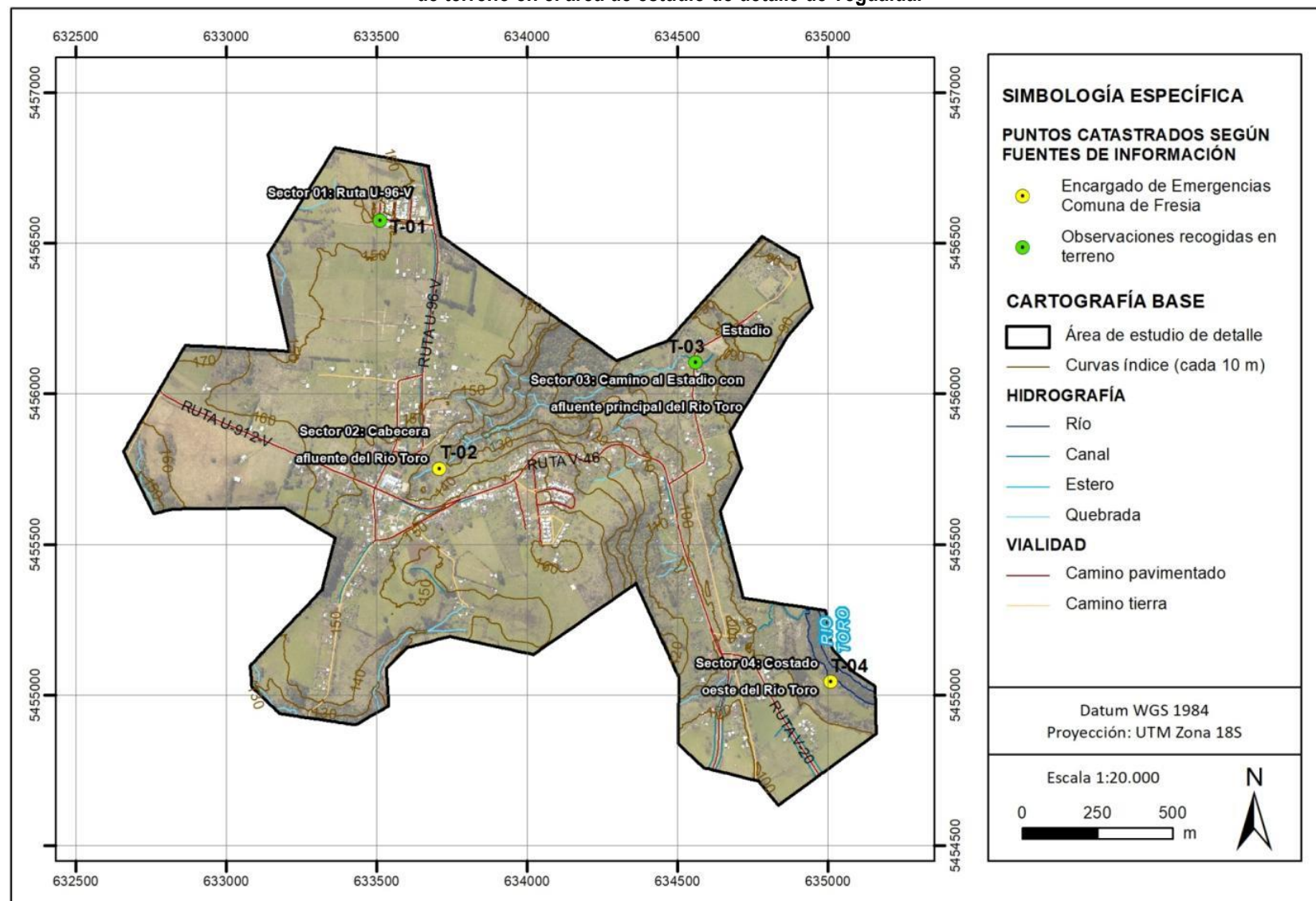
CUADRO N° 4-2 Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Tegualda.

Sector en FIGURA N° 4-2	Punto de catastro	Sector afectado	Descripción del evento	Peligro geológico identificado	Ubicación	Fuente de información
Sector 01: Ruta U-96-V	T-01	Unos 180 m al oeste de la Ruta U-96-V	En esta esquina se identifica una zona con potencial anegamiento.	Anegamiento	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
Sector 02: Cabecera afluente del Río Toro	T-02	Zona de cabecera de afluente principal del Río Toro	Alrededor de la quebrada central de Tegualda se podrían generar procesos de remociones en masa. Esta quebrada llega al río Toro por el Estadio.	Remociones en masa	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia
Sector 03: Camino al Estadio con afluente principal del Río Toro	T-03	Camino que llega al Estadio de Tegualda inters. quebrada afluente del Río Toro	En caso de lluvia, podría haber inundación en este sector porque la cuenca de esta quebrada es grande.	Inundación por desborde de cauce	Exacta	Observaciones recogidas en terreno
Sector 04: Costado oeste del Río Toro	T-04	Costado oeste del Río Toro, al SE del área de detalle	Los humedales alrededor del Río Toro evita que ocurra inundación por desborde de cauce.	Inundación por desborde de cauce	Referencial	Encargado de Emergencias Comuna de Fresia

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en el cuadro.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 4-2 Mapa de catastro de eventos de inundación por desborde de cauce y anegamiento con información recogida durante la campaña de terreno en el área de estudio de detalle de Tegualda.



Fuente: Elaboración propia a partir de información detallada en el CUADRO N° 4-2.

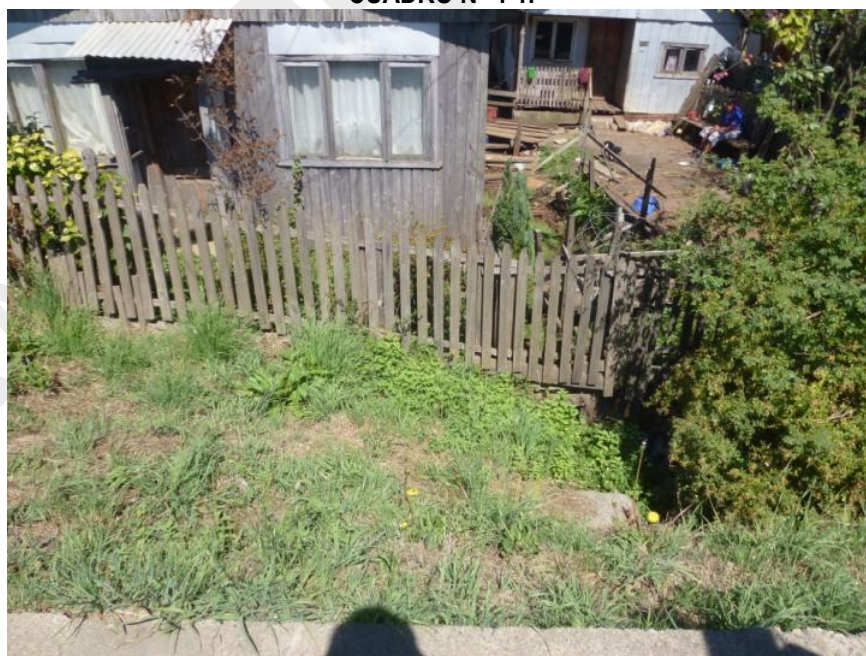
PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 4-3 Esquina referida en el Punto F-02 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO N° 4-1.



Fuente: Archivo fotográfico de terreno. Según el relato de un vecino, cuya casa está ubicada inmediatamente al S de esta esquina, se inunda sobre la carretera, debido a que la capacidad de obras de arte es insuficiente.

FIGURA N° 4-4 Casa de vecino referida en el Punto F-04 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO N° 4-1.



Fuente: Archivo fotográfico de terreno. El estero que fluye por este sector pasa justo por la casa de un vecino (por su patio, al costado de la casa). Él contaba que su casa se inunda cada vez que llueve

FIGURA N° 4-5 Esquina referida en el Punto F-08 del catastro de inundaciones detallado en el CUADRO N° 4-1.



Fuente: Archivo fotográfico de terreno Esta esquina suele inundarse, especialmente el costado SW que tiene una casa construida en un área deprimida (bajo 1,5m aprox.). El agua se estanca y no fluye hacia el NE (como el cauce original) porque el terreno está topográficamente más elevado.

4.2 Peligro de inundaciones por desborde de cauce

El peligro de inundaciones por desborde de cauces se asocia al crecimiento de caudales en ríos o esteros, los cuales inundan sectores aledaños a sus cauces. Este tipo de peligro suele estar relacionado con fenómenos pluviométricos prolongados o intensos. Existen además otros factores condicionantes detallados en el ANEXO B.2.1.1.

4.2.1 Diagnóstico de inundaciones por desborde de cauce

4.2.1.1 Metodología

Para identificar las zonas que presentan condiciones para ser afectadas por inundaciones por desborde de cauce, se analizaron las fuentes de información disponibles, es decir, registro histórico o catastro de eventos de inundaciones y las zonas con depósitos aluviales o fluviales. El uso de cada uno de los factores se describe a continuación.

- Catastro general de eventos peligrosos ocurridos en Fresia: Este catastro se obtuvo mediante la recopilación de antecedentes, tanto en medios físicos como digitales, observaciones de terreno, y consultas al encargado de emergencias de la municipalidad de Fresia y a pobladores locales. Estos insumos se utilizaron para reconocer las zonas que han sido afectadas por eventos de inundación o que presentan condiciones para que ello ocurra.
- Geología local: Dado que la información contenida en el catastro es insuficiente para conocer las zonas propensas a ser afectadas por inundaciones en la totalidad del área de estudio, se identificaron las unidades geológicas que se pueden asociar a éstas. Como resultado se identificaron las siguientes unidades geológicas: depósitos aluviales actuales (Ha) y depósitos fluviales actuales (Hf).

4.2.1.2 Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

El factor desencadenante de las inundaciones por desborde de cauces, al igual que en los flujos de detrito y/o barro, son eventos pluviométricos extremos. En consecuencia, suelen confundirse en la prensa y en la memoria histórica de las localidades, lo que se ve reflejado en que en el catastro realizado.

En base a las fuentes de información utilizadas, los sectores que presentan condiciones para ser afectados por inundaciones en Fresia son:

- Río Norte: Según el encargado de emergencias, el sector donde este río cruza la Ruta V-214 se inunda frecuentemente. Con respecto a otros sectores de este río, no existen antecedentes, debido a que no hay actividades, sin embargo, no se puede descartar que existan.
- Afluentes del río Norte: Existen tres sectores donde los afluentes del río Norte generan problemas relativos a inundaciones por desborde de cauces. El primero de ellos corresponde a la quebrada ubicada a una distancia entre 50 y 100 m hacia el sur de la calle Santana, donde existen casas construidas dentro del lecho del río, que, según pobladores del sector, se inundan cada vez que llueve. El segundo corresponde al cruce de la Ruta V-30 con la Ruta V-300, en el sector conocido como Las Beatas. Este sector se inunda cada vez que llueve, con agua que viene por los cauces y por la orilla de la carretera. El tercero de los sectores corresponde a la Población Maine, donde se tienen problemas debido a que se han construido obras a lo largo del cauce que retienen el agua. En los dos últimos casos, el problema es de anegamiento. El cauce ubicado cerca del límite oriental del área de estudio de Fresia no tiene registros de inundaciones y acceder a él es difícil, sin embargo, no se puede descartar que tenga condiciones favorables para que ellas ocurran.
- Río de Las Cailles: No se encontraron registros de inundaciones en este cauce, debido a que no hay actividades en él. La morfología muestra que existen condiciones para que ellas ocurran.

Por otra parte, los sectores que presentan condiciones para ser afectados por inundaciones por desborde de cauces en Tegualda son:

- Río Toro: El río Toro presenta un nivel aterrizado a una altura similar al río. Por esta razón, se ha considerado que presentan condiciones favorables para que la terraza se inunda completamente.
- Quebradas tributarias del río Toro: Existen varias quebradas tributarias donde, si bien no existe registro sistematizado de inundaciones por desborde de cauces, si existen condiciones para que ello ocurra.

4.2.2 Susceptibilidad de inundaciones por desborde de cauce

De acuerdo a los resultados del diagnóstico, las zonas inundables se asocian en la mayoría de los casos a los cauces principales del área de estudio y a su entorno próximo, aunque también se identificaron casos de inundaciones en cauces menores. En consecuencia, la geología corresponde a un buen insumo inicial para la definición de la susceptibilidad, que se debe modificar en función de las observaciones contenidas en el catastro.

En términos generales, se deben hacer algunas diferencias entre los tres ríos más importantes (Norte, de Las Caulles y Toro).

En el río Toro, el caudal es mayor y presenta crecidas más significativas. Por otra parte, su nivel aterrizado se encuentra a una altura similar al río mismo, y el segundo nivel que se inundaría se encuentra varios metros por sobre la terraza anterior. En consecuencia, este río presenta una amplia zona de susceptibilidad muy alta y una de susceptibilidad alta que no puede ser representada debido a la escala de análisis.

En los ríos ubicados en Fresia la situación es diferente, porque se encuentran muy cerca de la zona de nacimiento, de manera que la cuenca aportante es pequeña. En este caso, se ha asignado una susceptibilidad muy alta al cauce propiamente tal, mientras que a los niveles aterrizados se les asigna una susceptibilidad alta.

Finalmente, existe una quebrada ubicada en Fresia que se ha rellenado parcialmente. Pese a que ella no presenta condiciones para que escurra por ella, no se puede descartar completamente que ocurra una inundación por desborde de cauces.

De esta forma, la susceptibilidad de inundación por desborde de cauces se define de la siguiente forma:

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Zonas cubiertas por depósitos fluviales actuales (Hf) en los ríos Norte y de Las Caulles, en Fresia, y Toro, en Tegalda. En el último de ellos se incluye un nivel de terrazas.
- **Susceptibilidad Alta:** Niveles de terrazas asociados a los ríos Norte y de Las Caulles y cauces menores que, según el catastro, han generado inundaciones por desborde de cauces.
- **Susceptibilidad Moderada:** Quebrada rellena que atraviesa Fresia.

El mapa de susceptibilidad de inundaciones por desborde de cauce se presenta, a modo referencial, dentro del informe (al final de este capítulo) a escala 1:20.000, en la FIGURA N° 4-6 (localidad de Fresia) y FIGURA N° 4-7 (localidad de Tegalda), y fuera de texto, se presenta a escala 1:5.000, en el PLANO N°2-A, para el área de Fresia, y en el PLANO N°2-B, para el área de Tegalda.

4.3 Peligro de inundaciones por anegamientos

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y/o deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Se describe con mayor detalle en el ANEXO B.2.1.2. Esto puede ocurrir debido a que los cauces activos encuentran bloqueada su red de drenaje por algún obstáculo, o bien por aguas lluvia que quedan “entrampadas” en sectores llanos y de vegas.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

4.3.1 Diagnóstico de inundaciones por anegamientos

4.3.1.1 Metodología

Para reconocer las zonas más propensas a ser afectadas por anegamientos, se buscaron sitios que cumplieran uno o más de los siguientes factores condicionantes: (1) que tuvieran evidencias previas de anegamiento, (2) que se encontraran en las cercanías de zonas de acumulación de aguas, y (3) que correspondieran a zonas topográficamente deprimidas. El modo en que fue identificado cada uno de estos factores, y la importancia de su aplicación se detalla a continuación.

- Catastro general de Tegualda y Fresia: el catastro obtenido por medio de la recopilación de antecedentes tanto en medios físicos como digitales, observaciones de terreno, y entrevistas con pobladores locales y con el encargado de emergencias de la municipalidad de Fresia (CUADRO N° 1 3), corresponde a un importante insumo para un primer reconocimiento de las zonas anegables.
- Dirección del flujo natural de agua y su zona de acumulación: se determinaron redes de drenaje a partir de un DTM de detalle (1m). Para esto, primero se simplificó el ráster (herramienta *Aggregate*), a uno con celdas de 3x3 m (con valor equivalente al promedio de las celdas de entrada que la conforman); luego se corrigieron imperfecciones del DTM (herramienta *Fill*); posteriormente se estimó la dirección del flujo (*Flow Direction*), es decir la dirección descendente entre una celda y otra; y por último se obtiene el valor de acumulación de flujo (*Flow Accumulation*) en cada celda (es decir cuántas celdas aguas arriba derivan su hipotético flujo sobre esta celda). Con esto se obtiene un ráster que muestra la canalización del agua en su dirección de máxima pendiente (bastante similar a las redes de drenaje), es decir, muestra el recorrido que naturalmente tomaría el agua lluvia y eventualmente su zona de acumulación.
- Depresiones topográficas: por medio de la observación detallada del DTM es posible identificar las zonas deprimidas, y además reconocer de manera apropiada su forma y relieve.

4.3.1.2 Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

Debido a la baja capacidad de infiltración de los suelos rojos arcillosos (distribuidos en las zonas de depósitos glaciales antiguos, ver sección 3.2.2), es probable que incluso pequeñas depresiones sean favorables para la generación de anegamientos. Por lo cual se prestó especial énfasis en detectar las zonas de acumulación de aguas asociadas a bajos topográficos.

Se identificó que las zonas expuestas a anegamientos se distribuyen en el entorno de las redes de drenaje principales de la zona central de Tegualda y Fresia, sobre las unidades geológicas de depósitos glaciofluviales (asociados a las glaciaciones Tegualda, Río Llico y Santa María) y aluviales (Ha); sin embargo, dadas las características de ocurrencia de este peligro, no se considera la geología como un factor condicionante.

En la localidad de Fresia, se identificaron las siguientes zonas expuestas a anegamientos:

- La población Maine es atravesada por una quebrada intermitente de orientación norte-sur, en cuyo entorno se suelen generar anegamientos por la acumulación de agua proveniente desde la misma quebrada, y de las calles que desaguan desde el oriente (Puntos F-10, F-11 y F-12 en el CUADRO N° 4-1). Esto, debido a que el terraplén del tren (calle Ruta V-46) obstruye el paso del agua hacia el norte, y además la alcantarilla se encuentra sobre el nivel de acumulación de agua, impidiendo su escurrimiento.
- El sector centro-sur de Fresia es atravesado por una quebrada de orientación NNE, con flujo en sentido SW-NE. Desde su nacimiento, a la altura de la calle Luis Reyes, hasta su desembocadura (sector nororiental de Fresia), se observan zonas topográficamente deprimidas que en algunos sectores están caracterizadas con vegetación asociada a presencia de agua. Estos bajos topográficos se identifican como potenciales zonas de anegamiento, situación que se ve agravada por el hecho de que varios sectores de este cauce natural han sido rellenados. Esta hipótesis se reafirma, ya que tanto el encargado de emergencia como los lugareños describen inundaciones previas en esta zona (Puntos F-07, F-08 y F-09, CUADRO N° 4-1).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

- En el sector de calle Beatas con Camino Polizones, desagua una pequeña quebrada natural, cuyo paso se ve obstruido por el terraplén de la Ruta V-300, que a esta altura se eleva por casi un metro por sobre el relieve promedio. Por lo que puede ser sometido a anegamiento (Punto F-01, CUADRO N° 4-1).
- Finalmente, por medio del análisis del mapa de alturas (DTM) y de las zonas de acumulación de agua (determinadas con el DTM) se reconocieron cuatro potenciales zonas de inundación por anegamiento en el sector suroriental de Fresia.

Por otra parte, en la localidad de Tegualda, en el sector noroccidental, se reconoció una zona topográficamente deprimida en la intersección de dos pasajes en el sector de la Ruta U-96-V (Punto T-01, CUADRO N° 4-2).

Con base en lo anterior, se observa que los anegamientos suelen ocurrir en sitios topográficamente deprimidos, muchos de los cuales previo a la intervención antrópica, parecen haber pertenecido a cauces naturales que ya han sido modificados. Estas zonas expuestas a anegamientos se caracterizan por no contar con salidas de evacuación de agua, debido (en muchos casos) a la obstrucción producida por el alzamiento de terrenos (terraplenes de calles) o edificaciones, que impide la evacuación del agua a través de sus vías de escorrentía naturales. Además, se observa que estas zonas tienen la posibilidad de estar (o no estar) conectadas directamente con una red hidrológica primaria, y en los casos en que se encuentran desconectadas, la situación es aún más desfavorable durante los eventos meteorológicos extremos, puesto que se supera la capacidad de infiltración de sus suelos.

4.3.2 Susceptibilidad de inundaciones por anegamientos

De acuerdo a los resultados del diagnóstico, la zonificación se realizó en primera instancia en aquellos sectores identificados en el catastro de peligros geológicos, y fue complementada con los datos topográficos obtenidos a través del DTM. Los mapas de altura y de acumulación de agua, permitieron identificar las zonas topográficamente deprimidas, su forma y su grado de susceptibilidad.

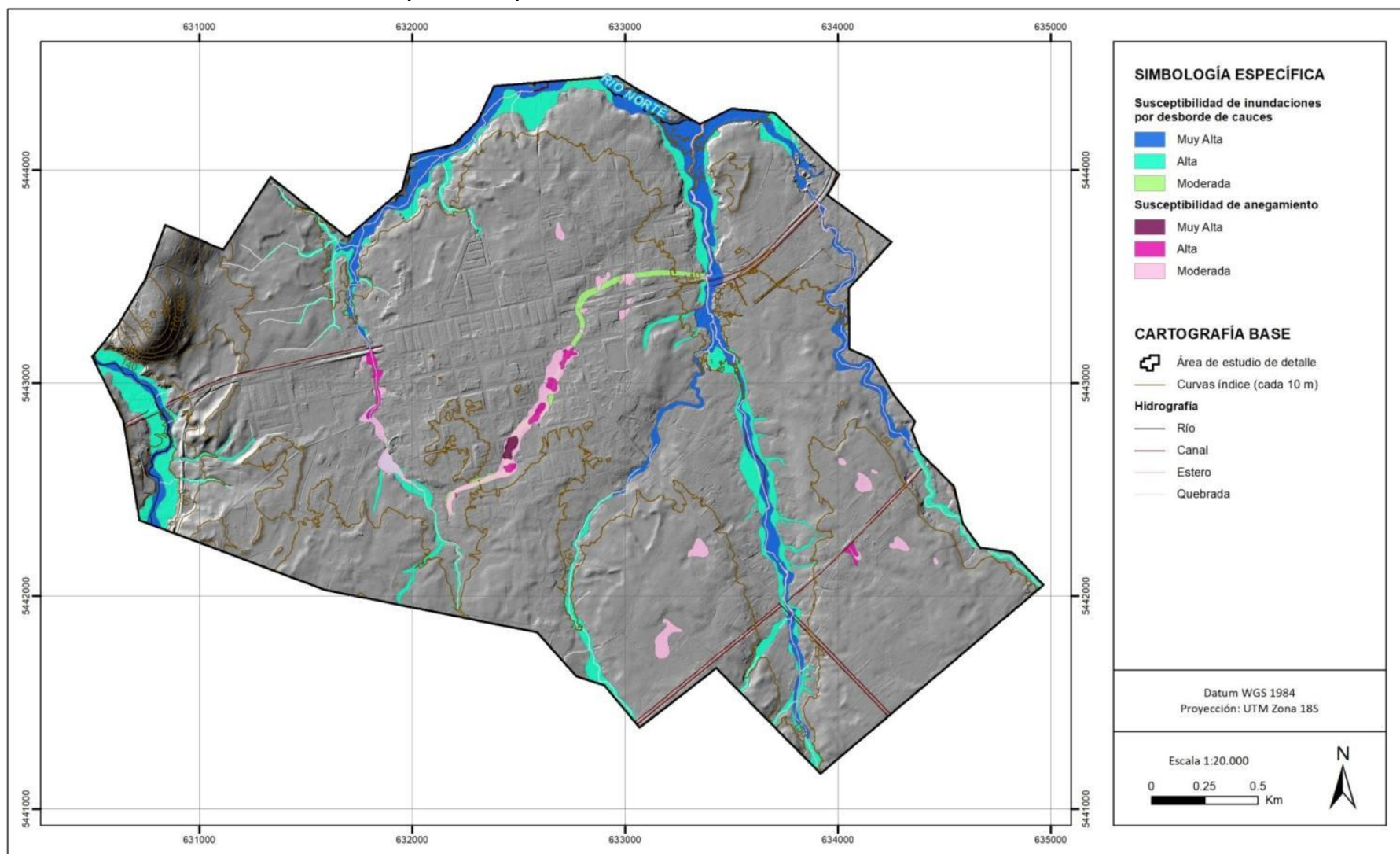
De este modo, se establecieron los siguientes criterios de zonificación:

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Corresponden a sectores topográficamente deprimidos con una diferencia de altura cercana a 1,5 m con respecto al nivel base promedio de su entorno, con mal drenaje, que cuentan con antecedentes de inundaciones por anegamiento previas y que en general se conectan directamente con la red hidrológica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias).
- **Susceptibilidad Alta:** Corresponde a sectores morfológicamente muy planos, deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por inundaciones y que en general se conectan directamente con la red hidrológica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias). Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 20 cm y 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno.
- **Susceptibilidad Moderada:** Corresponden a los sectores aledaños las zonas de susceptibilidad alta o muy alta, los cuales también se encuentran deprimidos, y cuya diferencia topográfica es menor a 20 cm con respecto al nivel base promedio de su entorno. También corresponden a los sectores que se encuentran topográficamente deprimidos que no se encuentran directamente conectados a la red hidrográfica, y que no cuentan con antecedentes de anegamientos anteriores; en este caso la diferencia de altura con respecto al nivel base promedio es inferior a los 50 cm.

El mapa de susceptibilidad de inundaciones por anegamientos se presenta, a modo referencial, dentro del informe (al final de este capítulo) a escala 1:20.000, en la FIGURA N° 4-6 (localidad de Fresia) y FIGURA N° 4-7 (localidad de Tegualda), y fuera de texto, se presenta a escala 1:5.000, en el PLANO N°2-A, para el área de Fresia, y en el PLANO N°2-B, para el área de Tegualda.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

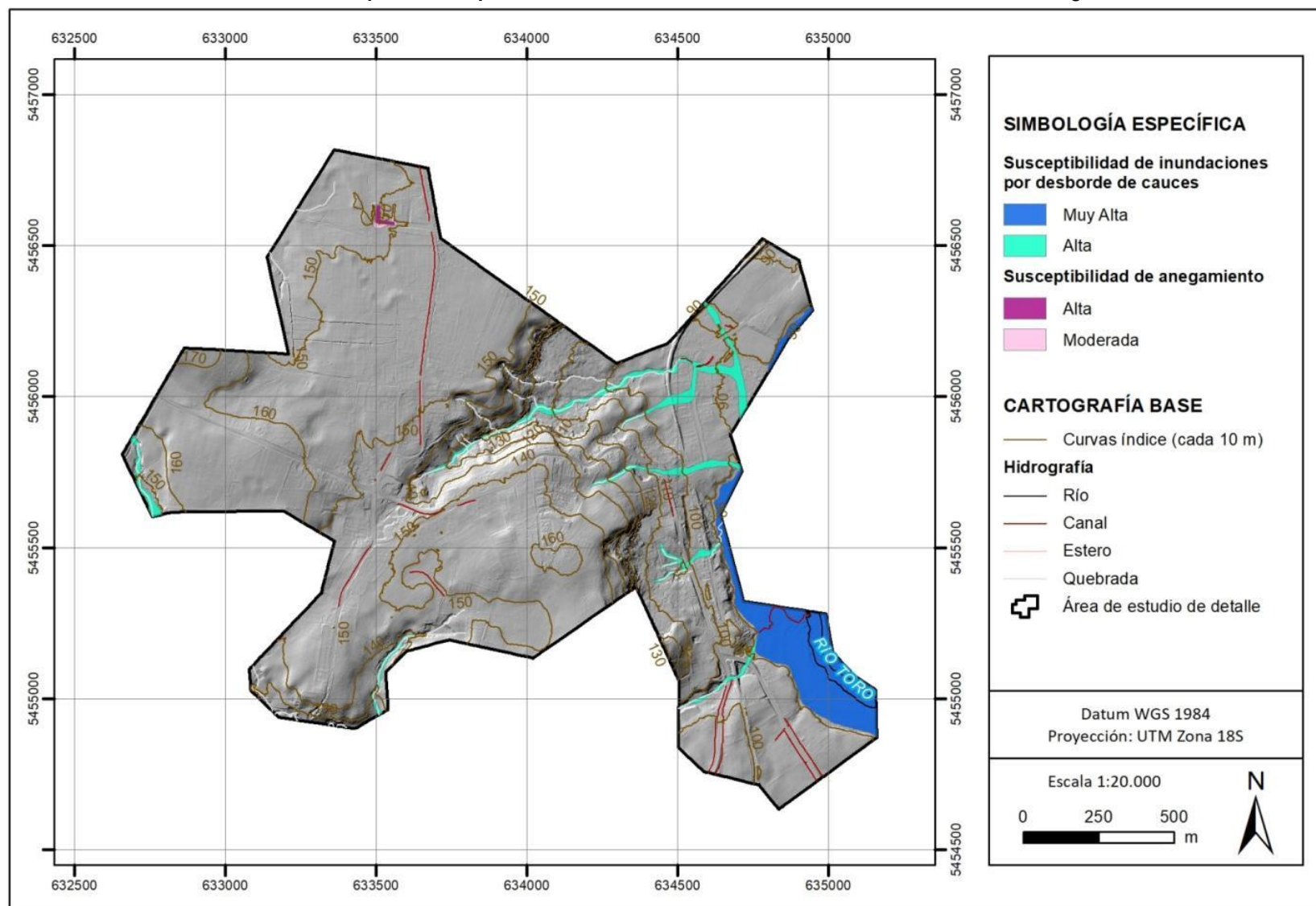
FIGURA N° 4-6 Mapa de susceptibilidad de inundaciones en el área de estudio de detalle de Fresia.



Fuente: Elaboración propia.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 4-7 Mapa de susceptibilidad de inundaciones en el área de estudio de detalle de Tegalda.



Fuente: Elaboración propia.

5. 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. El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007). Cada uno de ellos se describe detalladamente en el ANEXO B.2.2 “Procesos de Remoción en Masa”.

En este estudio, los peligros de remociones en masa son analizados separadamente: como (1) flujos de barro y detritos, correspondientes a movimientos de masa que trasladan material sedimentario con contenido de agua, lo que permite que se comporten como fluidos plásticos, y como (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 caídas de bloques, deslizamientos y retrocesos de laderas).

A continuación, se presenta un catastro de los eventos de remociones en masa que han afectado al área de estudio (sección 5.1) y, de manera independiente, un diagnóstico y una zonificación de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos (sección 5.2) y de procesos de laderas (sección 5.2).

5.1 *Catastro de remociones en masa*

5.1.1 Fuentes de información consultadas

Las fuentes de información consultadas consisten en antecedentes bibliográficos (Urrutia & Lanza, 1993), catastros de eventos peligrosos elaborados por servicios públicos e instituciones privadas (ONEMI (2002)¹⁰, (2009)¹¹); registros de prensa (www.paislobo.cl¹², www.semanariolocal.cl¹³, www.fotonoticia.cl¹⁴) e información recopilada durante la campaña de terreno, ya sea mediante observaciones directas, comunicación con lugareños de los sectores recorridos o a través de reuniones con el Sr. Gonzalo Díaz, Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Fresia.

5.1.2 Catastro

Durante esta etapa, no se encontraron antecedentes bibliográficos relativos a remociones en masa ocurridas en el área de estudio de detalle de Fresia y Tegualda.

De acuerdo a lo conversado con el encargado de emergencias de la comuna, Sr. Gonzalo Díaz, solamente en la localidad de Tegualda hay un sector (Sector 02: “Cabecera afluente principal del Río Toro” en FIGURA N° 4-2), alrededor de la quebrada central de Tegualda, en el que se podrían generar remociones en masa. Sin embargo, en terreno no se observaron condiciones muy favorables para la ocurrencia de estos fenómenos.

¹⁰ <http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/206/ONE1019.pdf?sequence=1>, consultado el 24-10-2017.

¹¹ http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/430/SistemasFrontales2008_LosLagos.pdf?sequence=1, consultado el 24-10-2017.

¹² <http://www.paislobo.cl/2014/06/informan-de-la-situacion-actual-de-la.html>, consultado el 24-10-2017.

¹³ <http://www.semanariolocal.cl/archivos/11361>, consultado el 24-10-2017.

¹⁴ <http://www.fotonoticia.cl/2017/08/temporal-provoco-inundaciones-y-caida.html>, consultado el 24-10-2017

5.2 Peligro de procesos de laderas

Los procesos de ladera corresponden a 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 caídas de bloques, deslizamientos y retrocesos de laderas).

5.2.1 Diagnóstico de procesos de laderas

5.2.1.1 Metodología

Para identificar las zonas que presentan condiciones para ser afectadas por procesos de laderas, se analizaron las fuentes de información disponibles:

- Catastro general de eventos peligrosos ocurridos en la comuna Fresia: como fue mencionado anteriormente, el catastro de antecedentes bibliográficos no entregó información de este tipo de eventos en la zona.
- Información entregada por el equipo de emergencias de la comuna de Fresia.
- Parámetros morfométricos: se integra al análisis la carta de pendientes del área de estudio de detalle de Fresia y Tegualda como indicativo sobre la distribución de pendientes.
- Geomorfología local: la información de las formas reconocidas en terreno se suma como factor para el análisis de peligros de remociones en masa, particularmente la descripción de las laderas del área de estudio de detalle.
- Geología local: la información entregada por el levantamiento geológico local, no es un factor a considerar, debido a que no se reconocieron unidades geológicas de depósitos de remociones en masa en el área de estudio de detalle.

Por lo anterior, los factores a considerar para este diagnóstico son la carta de pendientes, la información entregada por el encargado de emergencias y la descripción de las formas reconocidas en terreno.

5.2.1.2 Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

El equipo de emergencias de la comuna de Fresia entregó como antecedente para este estudio que en el sector de cabecera de uno de los afluentes del Río Toro sería susceptible a generar procesos de ladera. Esta información es apoyada por la carta de pendientes (FIGURA D-2 en ANEXO D), aunque en terreno no se observaron condiciones muy favorables para la ocurrencia de estos fenómenos. A pesar de ello, desde un punto de vista conservador, esta información permite concluir que este sector cuenta con las características morfológicas para producir este tipo de fenómenos, debido a las altas pendientes.

El análisis geomorfológico local (sección 3.2.3) demuestra que en Fresia existen pendientes mayores hacia el extremo oeste en los escarpes que bordean al río Las Caulles, en la quebrada sin nombre ubicada al centro del área y en un alto topográfico ubicado en el extremo noreste de la localidad. Para el caso de Tegualda, estas se concentran en la quebrada central con orientación suroeste-noreste ubicada en la zona central, en las laderas donde existe un mayor relieve hacia el este y en el extremo suroeste. Lo anterior indicaría que corresponden a sectores susceptibles de generar procesos de ladera.

Aun considerando la estabilización de la vegetación, existen sectores con pendientes que alcanzan los 70°; como, por ejemplo, el sector del río Las Caulles en Fresia y a los escarpes en el sector de Cabecera afluente principal del Río Toro (quebrada central) en Tegualda, donde se encuentra el mayor desnivel del área de estudio de detalle.

Respecto a las zonas de pendientes elevadas asociadas a obras de infraestructura vial, estas corresponden a trabajos ingenieriles que cuentan con estudios que respaldan la estabilidad de sus taludes.

En cuanto a los factores desencadenantes, las lluvias son el principal gatillante para este tipo de peligros. Por otra parte, en menor medida, los procesos de ladera pueden ser desencadenados por grandes sismos.

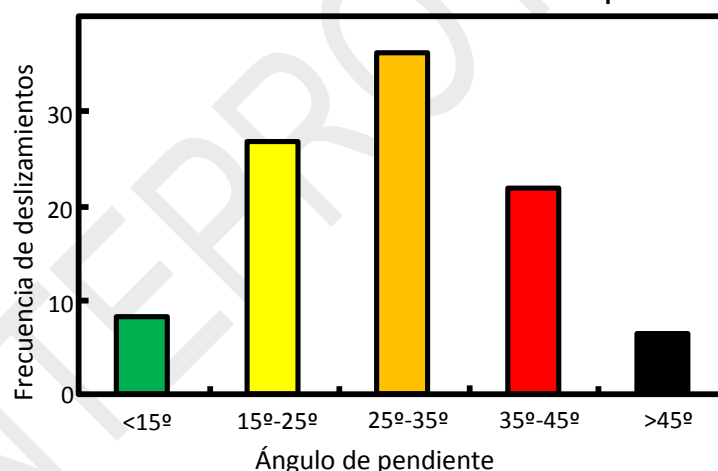
En conclusión, el área de estudio de detalle presenta antecedentes de remociones en masa y cuenta con sectores de mayores pendientes restringidos a los escarpes de redes de drenaje y laderas que además se encuentran cubiertas por vegetación que disminuyen la susceptibilidad de ser afectadas por estos peligros.

5.2.2 Susceptibilidad de procesos de ladera

La generación de procesos de ladera para la zona de estudio requiere de un componente principal que son laderas de alta pendiente. De acuerdo a los resultados del diagnóstico, estas se encuentran cubiertas por tupida vegetación (lo que reduce la susceptibilidad de caída de bloques o deslizamientos) ubicadas generalmente en las zonas cercanas a los ríos de la zona. Por lo tanto, el factor condicionante primordial corresponde a la pendiente.

Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles de ser removidas, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki *et al.* (2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos se observa en pendientes de 25° a 35° de inclinación (FIGURA N° 5-1).

FIGURA N° 5-1 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al. (2005)

Aunque el criterio de zonificación por pendientes no hace diferencias respecto del tipo de material que está disponible para ser movilizado, este será el único criterio utilizado debido a que la geología de la zona se compone únicamente de distintos tipos de depósitos (morrénicos, glaciofluviales, fluviales recientes, fluviales actuales y aluviales actuales) y el catastro junto con las observaciones de terreno no aportaron información sobre este tipo de peligro. Con estos antecedentes, se realizó un análisis a escala 1:5.000 y se definieron los siguientes criterios de zonificación:

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Zonas con pendientes mayores a 35°.
- **Susceptibilidad Alta:** Zonas con pendientes entre 25° y 35°.
- **Susceptibilidad Moderada:** Zonas con pendientes entre 15° y 25°.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

El mapa de susceptibilidad de procesos de ladera se presenta, a modo referencial, dentro del informe a escala 1:20.000, en la FIGURA N° 5-2 (localidad de Fresia) y FIGURA N° 5-3 (localidad de Tegualda), y fuera de texto, se presenta a escala 1:5.000, en el PLANO N°2-A, para el área de Fresia, y en el PLANO N°2-B, para el área de Tegualda.

5.3 Peligro de flujos de barro y/o detritos

Los flujos de detritos y/o barro (o simplemente flujos) corresponden a movimientos de masa que trasladan material sedimentario con contenido de agua, lo que permite que se comporten como fluidos plásticos. La ocurrencia de ellos está condicionada por la existencia de una zona que permita colear la lluvia caída y material de detritos, estas zonas de acumulación en general son quebradas. Muchas veces se asocian a lluvias esporádicas en zonas relativamente áridas, aunque también se pueden asociar a periodos de precipitaciones muy intensos, que pueden ser muy breves. Sus características se describen en detalle en el ANEXO B.2.2.3.

5.3.1 Diagnóstico de flujos de barro y/o detritos

5.3.1.1 Metodología

Para identificar las zonas que presentan condiciones para ser afectadas por flujos, se analizaron las fuentes de información disponibles, es decir, registro histórico o catastro de eventos de inundaciones o flujos y las zonas con depósitos aluviales o fluviales. Debe tenerse en consideración que en los registros históricos suelen confundirse los eventos de inundaciones y flujos; por esta razón fueron analizadas en conjunto en el catastro.

En base a las fuentes de información utilizadas, los sectores que presentan condiciones para ser afectados por inundaciones son:

- Catastro general de eventos peligrosos ocurridos en Fresia: este catastro se obtuvo mediante la recopilación de antecedentes tanto en medios físicos como digitales, observaciones de terreno, y consultas al equipo de emergencias de la municipalidad de Fresia y a pobladores locales. Estos insumos se utilizaron para reconocer las zonas que han sido afectadas por flujos o que presentan condiciones para que ello ocurra.
- Geología Local: Dado que la información contenida en el catastro es insuficiente para conocer las zonas propensas a ser afectadas por flujos en la totalidad del área de estudio, se identificaron las unidades geológicas que se pueden asociar a éstas. Como resultado los depósitos aluviales actuales (Ha) son la única unidad que presenta condiciones para ser afectada por este peligro.
- Pendiente: En general, el área de estudio presenta pendientes muy bajas. Por esta razón, se consideró la pendiente en el análisis de este peligro.

5.3.1.2 Análisis de factores condicionantes y desencadenantes

El factor desencadenante de los flujos, al igual que en las inundaciones por desborde de cauces, son eventos pluviométricos extremos. En consecuencia, suelen confundirse en la prensa y en la memoria histórica de las localidades, lo que se ve reflejado en que en el catastro realizado, donde no se registra ningún evento de flujos que hayan ocurrido en el área de estudio de detalle.

En cuanto a los factores desencadenantes, en la mayor parte de Fresia no existen condiciones favorables para que ocurran flujos, debido a la escasa pendiente del terreno en general, lo que redundaría en una baja pendiente de los cauces. Sin embargo, algunos cauces tienen una pendiente algo mayor, lo que facilitaría su ocurrencia. Estas quebradas se encuentran mayoritariamente cerca del río de Las Caulles. En Tegualda la

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

situación es diferente, porque la localidad se emplaza en zonas de pendiente elevada, de manera que los cauces que se encuentran en ella presentan condiciones favorables para la ocurrencia de flujos.

En ninguna de las dos localidades existe registro de flujos, sin embargo, esto no significa que no hayan ocurrido.

5.3.2 Susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos

En el área de estudio existen sectores con condiciones favorables para la ocurrencia de flujos, pero la mayoría de ellos están en Tegualda.

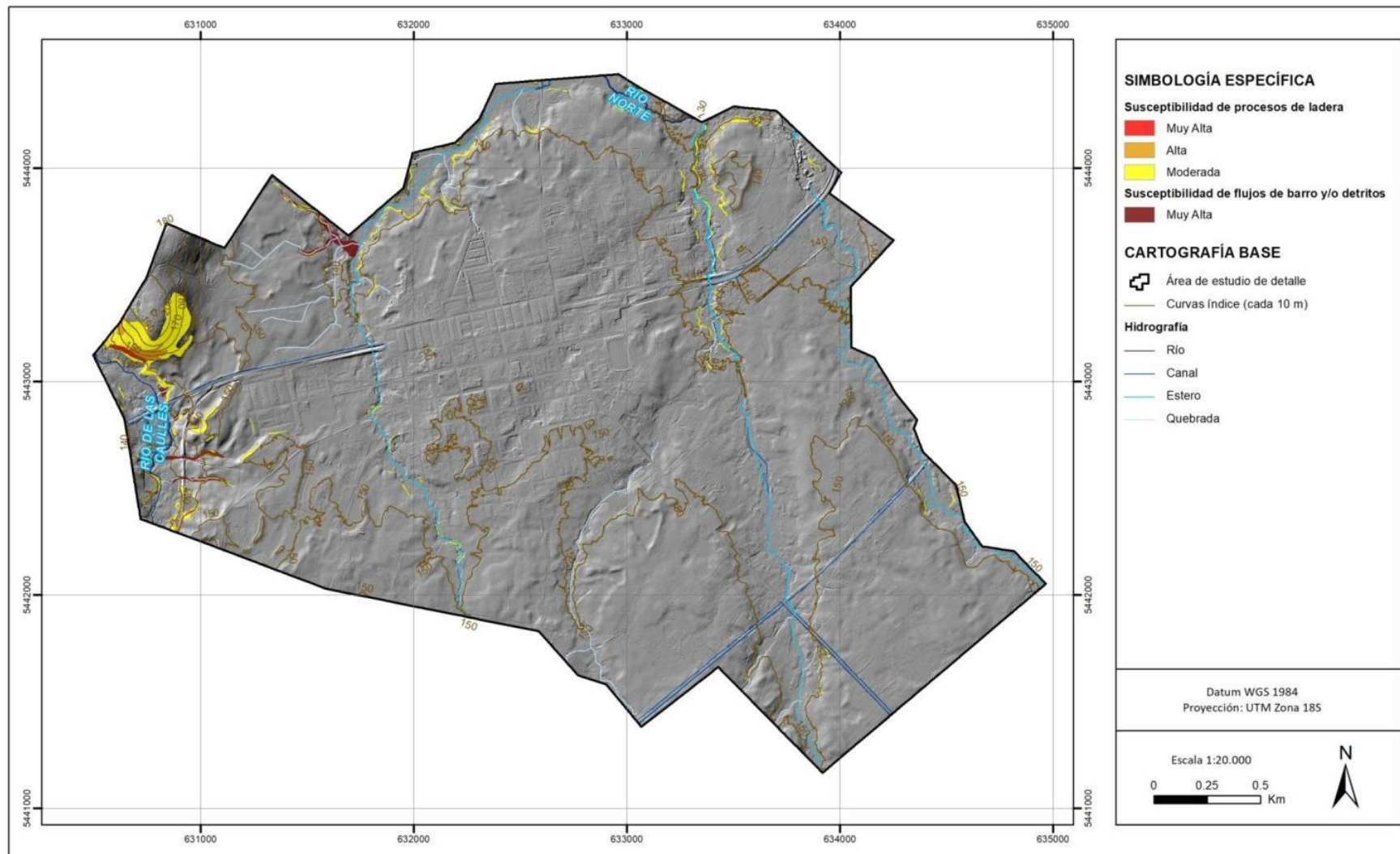
En consideración de los depósitos existentes y la pendiente de los cauces, se definieron las siguientes categorías de susceptibilidad de flujos:

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes mayores que 12° .
- **Susceptibilidad Alta:** Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes entre 8 y 12° .
- **Susceptibilidad Moderada:** Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes entre 5 y 8° .

El mapa de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos se presenta, a modo referencial, dentro del informe a escala 1:20.000, en la FIGURA N° 5-2 (localidad de Fresia) y FIGURA N° 5-3 (localidad de Tegualda), y fuera de texto, se presenta a escala 1:5.000, en el PLANO N°2-A, para el área de Fresia, y en el PLANO N°2-B, para el área de Tegualda.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

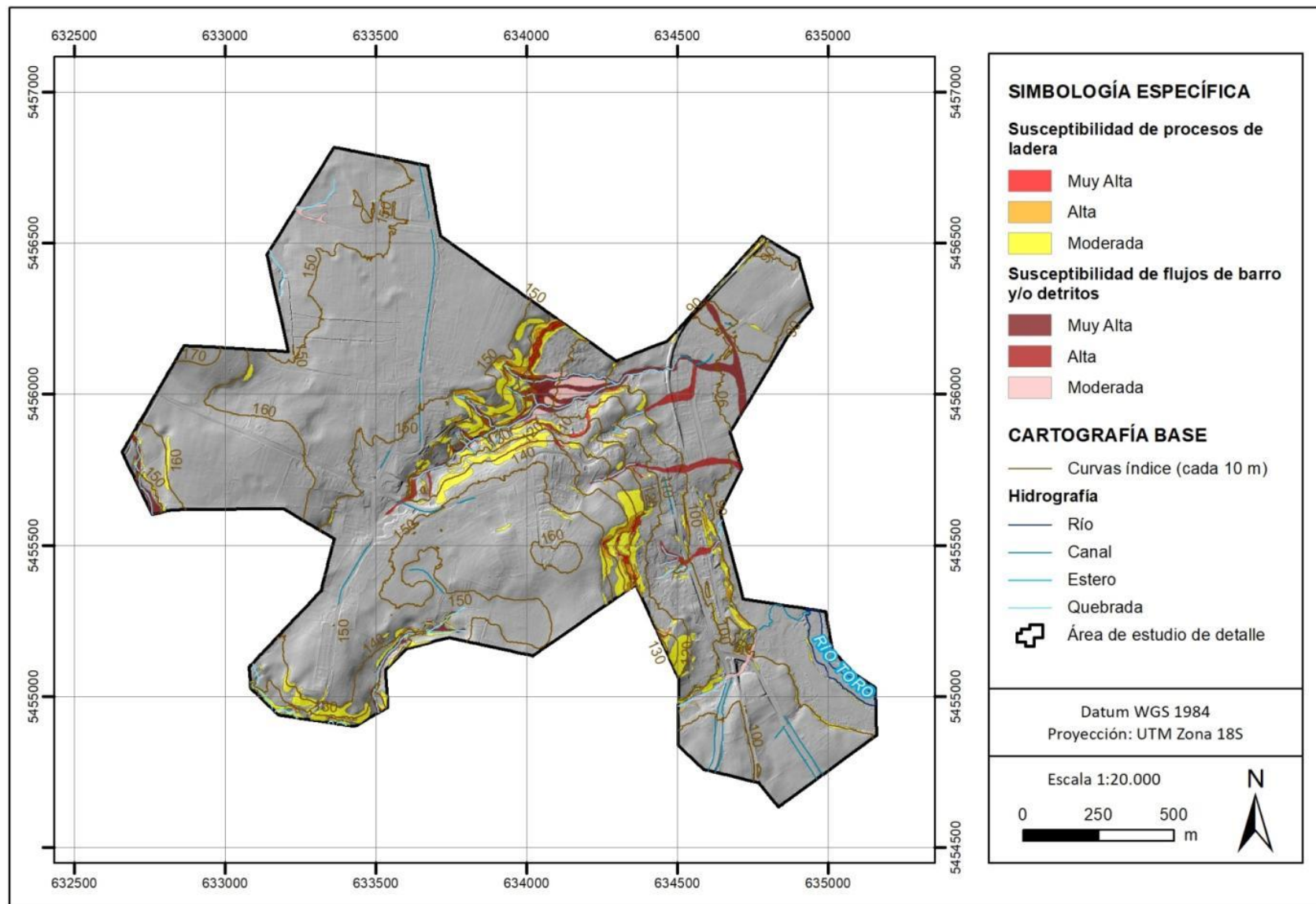
FIGURA N° 5-2 Mapa de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio de detalle de Fresia.



Fuente: Elaboración propia.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 5-3 Mapa de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio de detalle de Tegualda.



Fuente: Elaboración propia.

6. SISMICIDAD

6.1 Catastro de sismicidad

6.1.1 Antecedentes Históricos

La costa oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a la convergencia entre esta placa y la placa tectónica de Nazca. Esta convergencia de placas se caracteriza por un nivel particularmente alto de acoplamiento mecánico en la zona de contacto entre las placas, lo que permite la acumulación de grandes niveles de energía que al liberarse, generan sismos de gran magnitud. Por lo anterior, la zona de convergencia define una banda sísmica activa angosta, de aproximadamente 150 a 200 kilómetros de ancho, y una profundidad variable que aumenta hacia el este, entre aproximadamente 5 km de profundidad en la fosa Perú-Chile y aproximadamente 150 km de profundidad bajo el cordón montañoso de Los Andes. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 40 - 53 km de profundidad (Tichelaar & Ruff., 1993; Suárez & Comte, 1993; Belmonte-Pool, 1997; Khazaradze & Klotz., 2003; Tassara, Götze, Schimdt, & Hackney, 2006).

La costa de Chile históricamente ha sido afectada por grandes terremotos, varios acompañados de maremotos destructivos. En la FIGURA N° 6-1 se grafican los más importantes sismos de subducción que han afectado al territorio de Chile continental en el período histórico.

El área de estudio posee antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo thrust (por ejemplo, los terremotos de 1837 y de 1960) tal como se observa en la FIGURA N° 6-1. Los principales eventos que han afectado al área de estudio se presentan en el CUADRO N° 6-1, donde destaca el terremoto de 1960, que corresponde al evento sísmico más grande registrado instrumentalmente en la historia moderna, al que se calculó una magnitud de $M_w=9.5$. En la zona de estudio no han sido registrados eventos intraplaca de profundidad intermedia con magnitudes de importancia, esto es en gran parte debido a las limitaciones del registro instrumental e histórico.

CUADRO N° 6-1 Datos de terremotos de magnitud superior a 7.0 ocurridos en la zona.

Latitud	Longitud	Magnitud	Año	Mes	Día
-39.80	-73.20	8.9	1575	12	16
-39.80	-73.20	7.9	1737	12	24
-39.80	-73.20	8.3	1837	11	7
-37.50	-73.50	7.3	1960	5	21
-37.50	-73.00	9.5	1960	5	22

Fuente: Elaboración propia

El registro histórico de los más grandes sismos interplaca ocurridos se detallan en el CUADRO N° 6-2.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

CUADRO N° 6-2 Registro histórico de los más grandes sismos interplaca ocurridos en la zona de estudio

FECHA	DESCRIPCIÓN
16/12/1575	16 de diciembre, hora y media antes de la media noche, la ciudad de Valdivia fue semidestruida por un terremoto de gran intensidad que abarcó la amplia zona comprendida entre Villarrica y Castro. Los derrumbes de los cerros obstruyeron el cauce del río Calle Calle y al romperse la represa, el agua desbordó sobre los poblados.
24/12/1737	El 24 de diciembre, la plaza de Valdivia fue asolada por un gran terremoto, razón por la cual se pensó trasladar los fuertes. La zona afectada llegó hasta Castro.
7/11/1837	El 7 de noviembre, a las 8:05, un terremoto afectó Valdivia, Osorno y Ancud. Los edificios públicos quedaron con graves deterioros o derrumbados.
22/05/1960	El 22 de mayo ocurre el evento más grande registrado en la historia de la sismología moderna, al que se le ha estimado una magnitud de momento (M_w) de 9.5, largo de ruptura estimado en cerca de 1000 kilómetros, un deslizamiento entre las dos placas estimado en 30 metros (Madariaga, 1998) y reveló que los valores extremos de cambio en la topografía fueron de un alzamiento de 6 m en la Isla Guamblin y de 2 m de subsidencia en la ciudad de Valdivia. Cerca de 38 horas después de este megasismo tipo thrust, se inició la actividad del Complejo Volcánico Puyehue Cordon Caulle.

Fuente: Elaboración propia en base a Urrutia y Lanza (1993) y Madariaga (1998).

Los terremotos previos a 1960 no poseen información instrumental que permita determinar sus características, por lo que, utilizando datos de intensidad de daño, se estiman las áreas de ruptura de estos terremotos, utilizando la metodología propuesta por Kausel & Ramírez (1992). El área de ruptura de los terremotos interplaca tipo thrust corresponde a la zona costera.

Hacia el este de la comuna de Fresia también se ha registrado actividad sísmica asociada a la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO, FIGURA N° 3-2). Si bien en su mayoría dichos sismos son de magnitudes menores, un ejemplo del potencial sísmico de esta estructura geológica es el caso del enjambre sísmico del año 2007 y que afectó a Puerto Aysén, ubicado al sur del área de estudio, pero que se encuentra próximo a la traza de la zona de falla Liquiñe-Ofqui. Su inicio ocurrió el 23 de enero de 2007 con un sismo $M_w = 5.2$ (USGS), al que le siguió una gran actividad entre el mes de enero y abril (con más de 7.200 eventos corticales superficiales, a profundidades inferiores que 25 kilómetros) y el 21 de abril ocurrió el sismo mayor, considerado terremoto ($M_w = 6.2$), que generó grandes deslizamientos, con posterior maremoto local, y que tuvo grandes efectos sobre la población. La actividad sísmica de la falla se origina por la liberación de esfuerzos de cizalle, que han sido acumulados por el movimiento diferencial de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, los que son resultado de la oblicuidad de la convergencia de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, y que se suma a la debilidad termal en la zona intra-arco que permite la absorción de esta deformación bajo un régimen de esfuerzo transpresivo (Mora, 2009).

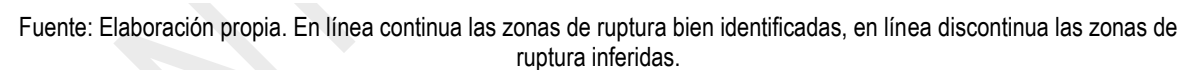
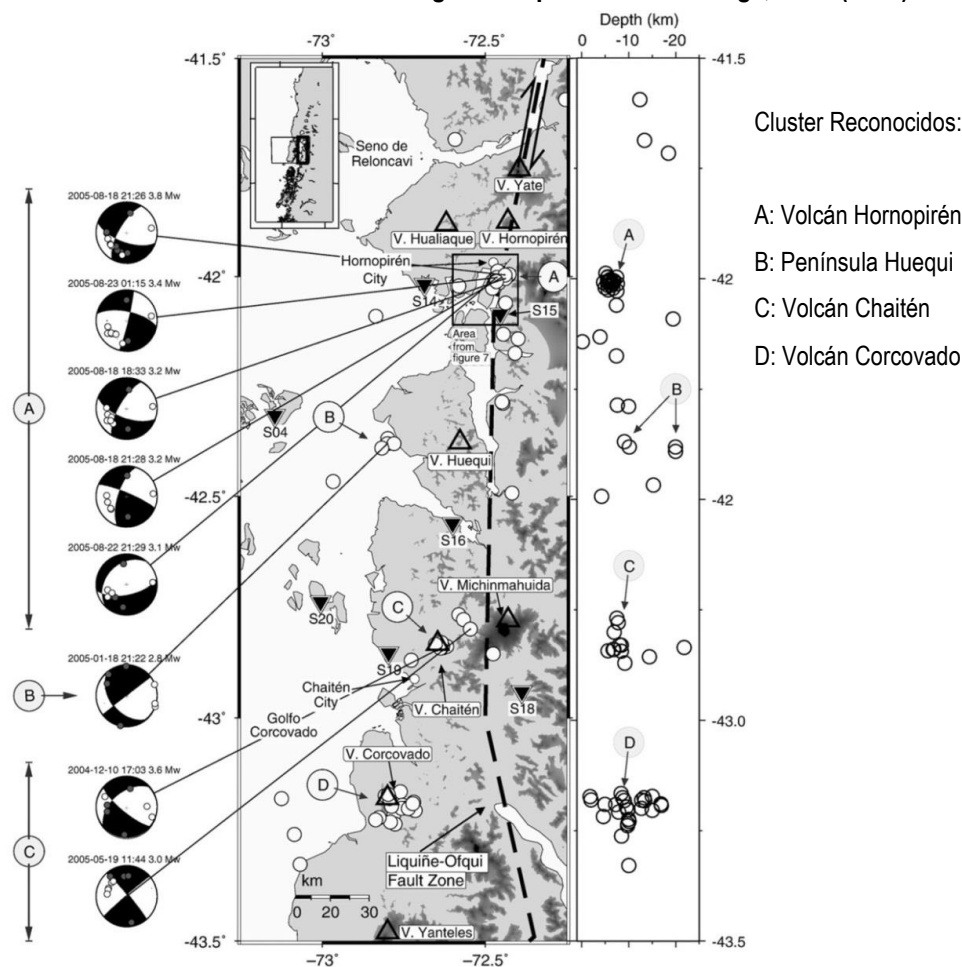


FIGURA N° 6-2 Sismicidad cortical registrada al este y sureste del área de estudio con soluciones de mecanismos focales a lo largo del experimento de Lange, *et al.* (2008)



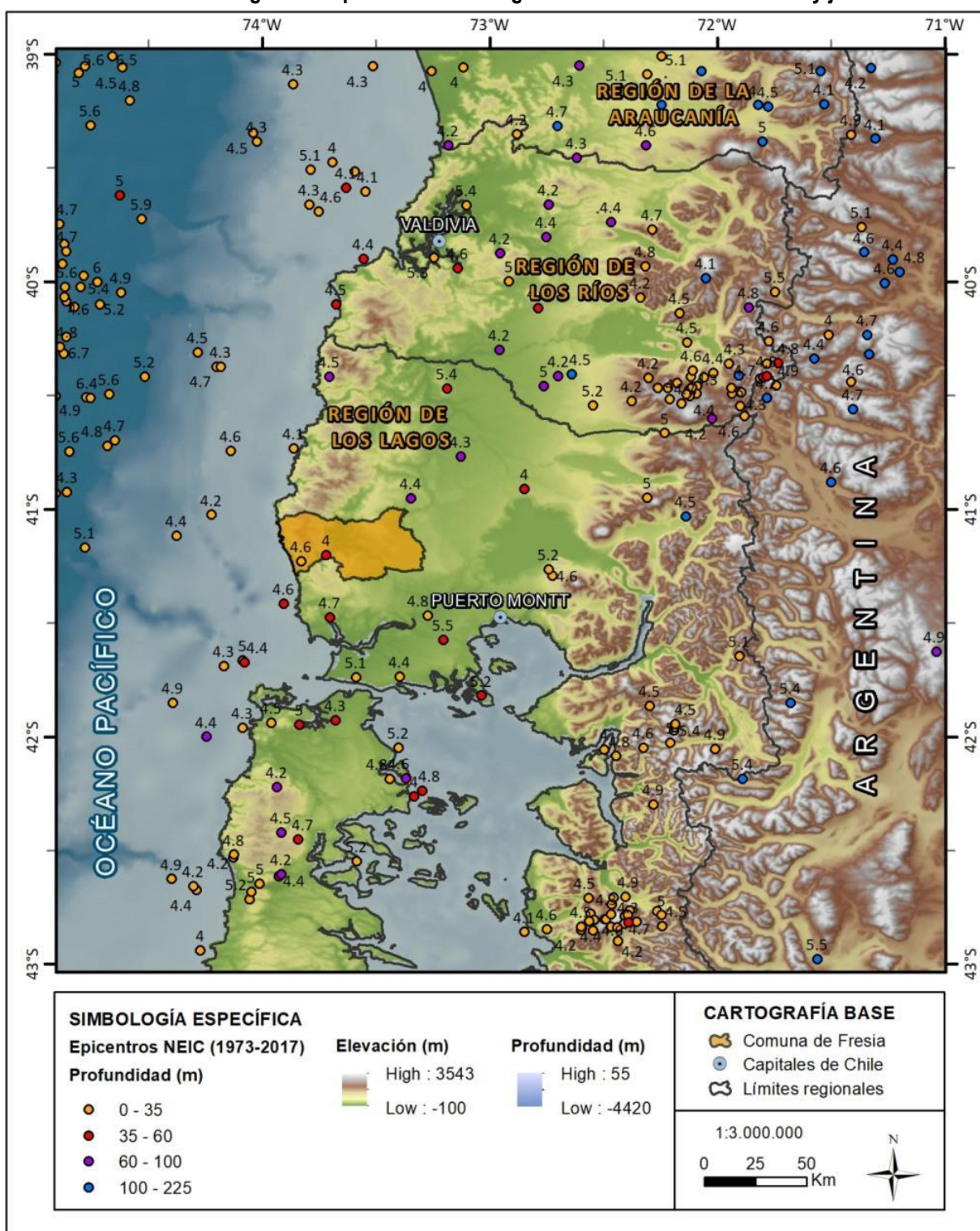
Fuente: Lange et al. (2008).

6.1.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial.

En la FIGURA N° 6-3 se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional, con magnitudes superiores a 4.0. En dicho registro se observa un grupo importante de eventos que se localizan próximos al contacto entre las dos placas (puntos distribuidos en el occidente); estos eventos sísmicos son denominados como interplaca o thrust (dado su bajo ángulo de manteo). Además, se aprecian eventos que ocurren al interior de la placa de Nazca, lejos del contacto, a profundidades superiores a 50 km (puntos morados y azules en FIGURA N° 6-3); a este conjunto de eventos se les conoce como intraplaca de profundidad intermedia. También es posible observar sismos superficiales en la placa Sudamericana, cerca de la Cordillera de Los Andes, correspondiendo a sismos corticales cordilleranos. Cabe destacar que no hay un registro suficiente de este último tipo de sismicidad para proceder a estimar los parámetros necesarios, y de esta manera efectuar estudios probabilísticos.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 6-3 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre abril de 1973 y julio de 2017.



Fuente: Elaboración propia en base a Catálogo NEIC (sismos sobre magnitud 4.0).

6.1.3 Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio.

En las dos secciones anteriores (6.1.1 y 6.1.2) se hizo una recopilación de los antecedentes históricos y del registro de la red sismológica mundial, para identificar los tipos de sismos reportados hasta la fecha en el área de estudio y sus alrededores. En virtud de lo anterior, se reconocen tres fuentes sismogénicas: interplaca, intraplaca de profundidad intermedia y eventos corticales superficiales (el detalle de las definiciones de los tipos de terremotos se encuentra en el ANEXO B.1.1 "Sismicidad").

- **Sismos Interplaca tipo Thrust**

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana (ver FIGURA B-3 en el Anexo B.1.1), producto de los esfuerzos comprometidos en el proceso de la subducción. Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes y son aquellos poseen potencial de generar maremotos. La zona de estudio se ha visto afectada por este tipo de sismos (por ejemplo, el terremoto de 1960).

- **Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia**

Esta fuente corresponde a los sismos que ocurren en el interior de la placa de Nazca, a continuación de la zona de acople, alcanzando profundidades mayores de 50 km y hasta los 150 -200 km (FIGURA B-3 en el Anexo B.1.1).

Si bien la zona de estudio sí registra este tipo de sismos, no se observan eventos de magnitudes importantes. Sin embargo, en el país han ocurrido terremotos intraplaca de profundidad intermedia de gran magnitud ($M \approx 8$), tales como el de Chillán de 1939 y el de Tarapacá del año 2005, que han sido los terremotos que más daño y mortandad han generado en Chile. Por lo que esta fuente de sismicidad no debe ser desestimada.

- **Sismos Corticales**

La sismicidad cortical está asociada a fallas geológicas activas y a procesos de deformación frágil en la corteza, y en general relacionados en su mayoría a sistemas de fallas inversas, razón por la cual la productividad sísmica de esta fuente

no se distribuye espacialmente homogénea. En la FIGURA N° 6-3 (distribución de puntos amarillos en el sector oriental en la FIGURA N° 6-3) se presentaron los focos asociados a sismicidad superficial, los que presentan buena correlación con las fallas corticales activas (actividad en el Holoceno) que se han recopilado de la información existente (FIGURA N° 3-2). A partir de ambas figuras es posible verificar que existe una actividad sísmica superficial difusa entorno al área de estudio, pero no lo suficiente para permitir un análisis probabilístico. Los antecedentes que se disponen no permiten definir el periodo de retorno de estas fallas activas.

6.1.4 Estudios previos del Peligro Sísmico en el área de estudio

En Chile se han desarrollado investigaciones previas que han estimado el peligro sísmico a diversas escalas de estudio. En esta zona, el último gran terremoto fue el de Valdivia de 1960 ($MW=9.5$), por lo tanto Susa (2004) propone que existe una probabilidad muy baja que se vuelva a producir un terremoto importante (MW sobre 7.0 -7.5) en dicha zona para un periodo de tiempo próximo (correspondiente al intervalo 2004 y 2024). Según los resultados del estudio anteriormente mencionado la zona sur del área analizada es una de las regiones del país que presenta menores probabilidades de ocurrencia de un sismo de magnitud importante a corto plazo.

Por otro lado, el proyecto denominado *Global Seismic Hazard Assessment Program* (GSHAP), desarrollado entre 1992 y 1999 (Giardini, 1999), tuvo como objetivo elaborar un mapa a escala global del peligro sísmico expresado en aceleración horizontal (*peak ground acceleration*, pga). Por ello, se estimó la aceleración máxima en la horizontal para un plazo de vida útil de 50 años considerando un 10% de probabilidad de excedencia (equivalente a un período de retorno de 475 años). Los resultados obtenidos para el área en estudio estiman una aceleración máxima en la horizontal de 2.4 m/s^2 (peligro moderado correspondiente a cerca de un 18%g) con un período de retorno de 475 años.

6.1 **Diagnóstico de peligro sísmico**

Considerando lo discutido anteriormente, se puede concluir que el área de estudio ha sido afectada por sismos importantes, al igual que casi todo Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos en la planificación a mediano y largo plazo. Particularmente para el área de estudio, el resultado del análisis anterior indica que el peligro sísmico del área se debe considerar uniforme, lo que no justifica una zonificación por generación de sismos.

Tanto para los sismos de profundidad intermedia como los sismos corticales, sus características y recurrencias son poco conocidas. Sin embargo, las evidencias recolectadas apuntan a que la zona puede ser afectada por sismos de ambos tipos. Los sismos de profundidad intermedia se registran en todo el país, la mayor parte corresponde a sismos de magnitud pequeña, para la zona los datos sísmicos señalan la ocurrencia de estos sismos, por lo que no se puede descartar un evento de magnitud importante en el futuro.

7. VOLCANISMO

7.1 *Catastro de centros volcánicos*

7.1.1 Fuentes de información consultadas

Para la elaboración del catastro de centros y eventos volcánicos cercanos al área de estudio se revisaron las fechas de registro de actividad y presentados en los textos de Petit-Breuilh (1995; 1999; 2003), González-Ferrán (1995), Urrutia & Lanza (1993) y la información del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN (2003; 2015); Lara et al. (2011); Bertin et al. (2015)) sobre la distribución de los productos volcánicos antiguos y recientes de los volcanes activos e inactivos ubicados entre los 40.5° y 42° S.

7.1.2 Registro de actividad volcánica de los centros eruptivos cercanos al área de estudio

Chile se dispone en la franja de Fuego del Pacífico, situada en las costas del Océano Pacífico, que se caracteriza por concentrar una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. En particular, el área de estudio se ubica en la zona central del segmento denominado Zona Volcánica Sur (ZVS) (FIGURA N° 7-1), desarrollado a lo largo de 1.400 km del margen andino, desde los 33,3° (Volcán Tupungatito) hasta los 45,9° latitud sur (Volcán Hudson), en el que se contabilizan alrededor de 60 volcanes activos durante el Holoceno (Siebert & Simkin, 2002). De acuerdo a Moreno (1993), esta zona tiene uno de los índices más altos de actividad volcánica, con un promedio de una erupción cada 0,7 años entre 1800 y 1990.

Dentro de este segmento se encuentran los siguientes centros volcánicos activos (de norte a sur): Puyehue-Cordón Caulle, Puntagudo-Cordón Cenizos, Osorno, Calbuco, el grupo de conos monogenéticos Cayutué-Ralún-Viguería, y los volcanes Yate, Hualaihué-Apagado y Hornopirén.

En la FIGURA N° 7-2, se muestran los centros volcánicos activos e inactivos ubicados entre los 40,5° y 42° S y depósitos volcánicos recientes, en términos geológicos. Existe un constante registro de actividad volcánica desde el Plioceno (hace unos 5 millones de años) hasta la actualidad que se puede dividir en 2 grandes grupos: actividad prehistórica e histórica. Los registros de la actividad prehistórica muestran abundante y vigorosa actividad volcánica del Plio-Pleistoceno, principalmente representada en los extensos depósitos de ignimbritas (que se asocian a un volcanismo efusivo y violento), ampliamente distribuidos a lo largo de la Depresión Central, al norte de la comuna de Fresia. Tanto los depósitos asociados a la actividad prehistórica como los históricos (ANEXO E.2) se encuentran restringidos a zonas ubicadas fuera de la comuna de Fresia.

Los tres centros volcánicos activos más cercanos a la comuna de Fresia, es decir, los volcanes Puntagudo-Cordón Cenizos, Osorno y Calbuco, ocupan los puestos 11, 43, 14 y 3, respectivamente, en el ranking de los volcanes activos más peligrosos de Chile, nómina elaborada por el SERNAGEOMIN (2015)¹⁵. Estos tres volcanes se encuentran entre los 70 y 100 km de distancia de la localidad de Fresia (FIGURA N° 7-2).

En el ANEXO E.2, se reseñan las características geológicas principales de los 8 centros eruptivos activos más cercanos a la comuna de Fresia, y se señala, para cada uno de ellos la ubicación en el “Ranking de Peligrosidad de los volcanes activos de Chile”, elaborado por el SERNAGEOMIN (2015). Las erupciones

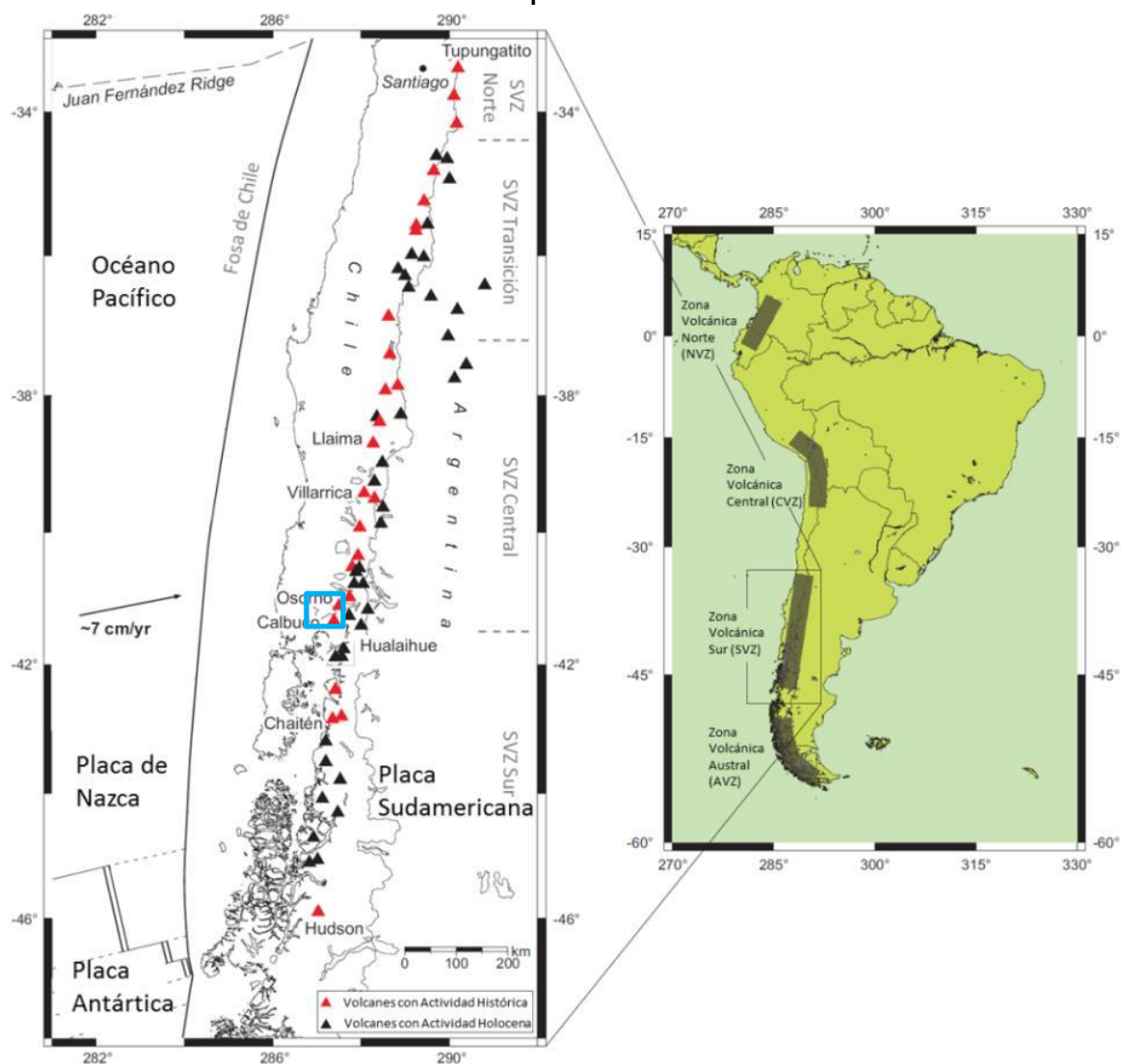
¹⁵ Esta nómina se establece de acuerdo a tres criterios: (1) que el volcán haya tenido algún nivel de actividad comprobable en los últimos 10.000 años o que los instrumentos muestren que tiene actividad, (2) que se encuentre cerca de centros poblados y (3) que represente un riesgo para las personas o la infraestructura pública y privada.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

históricas de ellos identificadas a partir de la recopilación bibliográfica se presentan en el CUADRO E-2 (ANEXO E), las que fueron obtenidas a partir de los textos de Petit-Breuilh (1995; 1999; 2003), González-Ferrán (1995) y Urrutia & Lanza (1993).

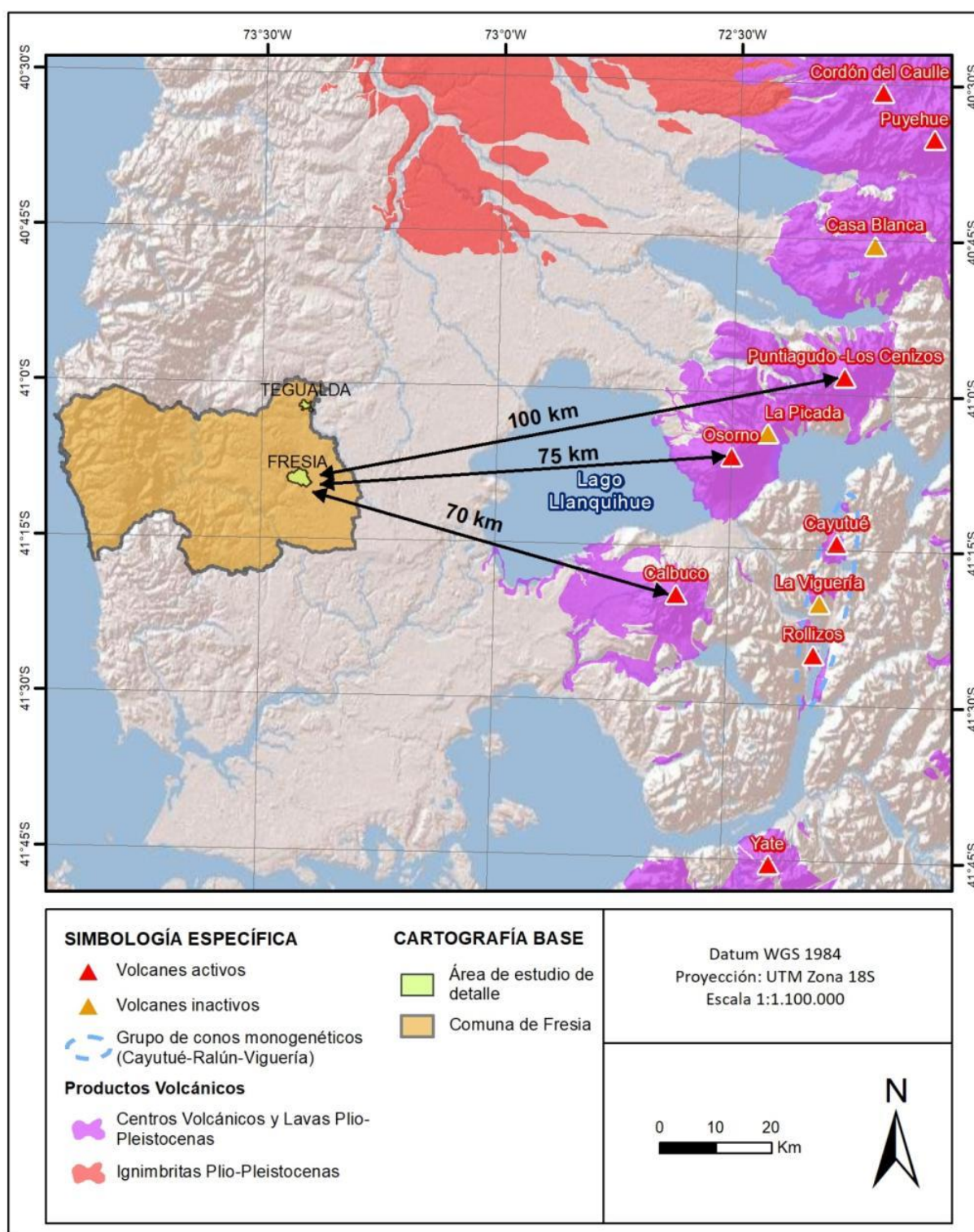
FIGURA Nº 7-1 Mapa General de la Zona Volcánica Sur. El cuadrado con borde de color celeste muestra la ubicación aproximada del área de estudio.



Fuente: Modificado de Watt (2010)

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA N° 7-2 Centros volcánicos cercanos al área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Según la más reciente publicación sobre Peligros Volcánicos en Chile elaborada por SERNAGEOMIN (Lara, Orozco, Amigo, & Silva, 2011), los sectores susceptibles de ser afectados por peligros volcánicos como lavas, lahares, flujos piroclásticos, avalanchas volcánicas y caída de piroclastos de los volcanes Puntagudo-Cordón Cenizos, Osorno y Calbuco se restringen a la zona de la Cordillera Principal de la Región de Los Lagos, hacia el este de la comuna de Fresia.

The map displays the southern region of Chile, highlighting major urban centers and natural landmarks. Key cities marked include Valdivia, Osorno, Calbuco, and others. Significant lakes such as Lago Panguipfo, Lago Llanquihue, and Lago Nahuelbuta are shown. The Pacific Ocean (Océano Pacífico) is labeled on the left. The map uses a color scheme of yellow and red to distinguish different geographical or administrative zones. A scale bar at the bottom indicates distances in kilometers.

Pese a lo anterior, la comuna podría ser afectada de manera indirecta por el peligro volcánico debido a la caída de tefra, producto de la erupción de alguno de los volcanes activos ubicados entre los 40,5° y 42° S. En erupciones violentas, la tefra puede ser llevada a altas capas de la atmósfera siendo transportadas por el viento y depositándose a centenares de kilómetros. Sin embargo, suponiendo que las erupciones volcánicas involucren caída de cenizas se espera que migren con mayor probabilidad hacia el SE y E debido a la dirección predominante de los vientos. No es posible definir áreas más expuestas a la caída de ceniza dentro de las áreas urbanas, y por lo tanto, no es posible zonificar el peligro.

8. RECOMENDACIONES DE PLANIFICACIÓN

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en la zonificación urbana. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC al Plan Regulador Comunal, como por ejemplo, la diferenciación de usos de suelo y regulación de la forma e intensidad de su ocupación.

Para poder definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados para la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. 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 periodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa si existe mayor o menor exposición frente a un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de 'muy alta' susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir algún evento del peligro analizado, 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 magnitud mucho mayor que las dos anteriores, que por lo mismo suelen afectar superficies mucho mayores, pero que son poco frecuentes, y por lo mismo, muchas veces no existen registros históricos. En términos prácticos, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Desde esta perspectiva, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, se propone aplicar el artículo 2.1.17 y evitar que se construya en las zonas de 'muy alta' y 'alta' susceptibilidad. Para la zona de 'moderada' susceptibilidad, se recomienda aplicar normas urbanísticas que regulen la forma e intensidad de su ocupación y excluir el equipamiento crítico (educación, salud y seguridad) en el caso de las áreas no consolidadas. Del modo que se presenta en el CUADRO N° 8-1. Para las zonas de susceptibilidad moderada no se recomienda aplicar el artículo 2.1.17, debido a que esta categoría de susceptibilidad está asociada a eventos excepcionales de un peligro dado.

Se observa que en la mayor parte del área de estudio las inundaciones por anegamiento se deben a causas antrópicas, ya sea por el mal funcionamiento (o falta) de obras hidráulicas que permitan un apropiado drenaje, o bien por otras causas antrópicas que modifican de la red natural de drenaje, (como construcción de terraplenes, relleno de quebradas, etc). Para evitar que éstas afecten a viviendas, se propone realizar un plan de mantención sistemático de tales elementos (obras de artes, alcantarillados, etc.) y el diseño y construcción de obras destinadas a drenar las aguas, principalmente en Fresia.

8.1 Otras recomendaciones

Para mitigar los riesgos asociados a remociones en masa e inundaciones, se recomienda construir obras destinadas a controlar los peligros geológicos. En el caso de las inundaciones, estas obras debieran tener como objetivo interceptar, conducir y descargar de manera controlada las aguas superficiales; por lo que es necesario mantener las obras ya existentes libres de escombros (redes de alcantarillado, ductos y obras de arte). Para las remociones en masa, contener o desviar los materiales removidos. Las medidas de mitigación que se propongan escapan a los objetivos y alcances de este estudio, y deben ser diseñadas y ejecutadas mediante una asesoría técnica-profesional apropiada, tal como lo indica la OGUC.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias, en las que además se informe adecuadamente acerca de las medidas a adoptar frente a situaciones de emergencia (sistemas de alerta, vías de evacuación, zonas seguras), con el objetivo de promover el autocuidado. En caso de que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos pueden salvar vidas, ya que condiciona una reacción correcta y autónoma por parte de la población.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

CUADRO N° 8-1 Criterios de zonificación urbana en áreas de riesgo

"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC	TIPOS DE PELIGRO (según este informe)	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.	
				ÁREA NO CONSOLIDADA	ÁREA CONSOLIDADA
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 por desborde de cauces	MUY ALTA	Zonas cubiertas por depósitos fluviales actuales (Hf) en los ríos Norte y de Las Caulles, en Fresia, y Toro, en Tegalda. En el último de ellos se incluye un nivel de terrazas.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
		ALTA	Niveles de terrazas asociados a los ríos Norte y de Las Caulles y cauces menores que, según el catastro, han generado inundaciones por desborde de cauces.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
		MODERADA	Quebrada rellena que atraviesa Fresia.	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	Inundaciones por anegamiento	MUY ALTA	Corresponden a sectores topográficamente deprimidos con una diferencia de altura cercana a 1,5 m con respecto al nivel base promedio de su entorno, con mal drenaje, que cuentan con antecedentes de inundaciones por anegamiento previas y que en general se conectan directamente con la red hidrológica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias).	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
		ALTA	Corresponde a sectores morfológicamente muy planos, deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por inundaciones y que en general se conectan directamente con la red hidrológica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias). Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 20 cm y 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Excluir equipamiento esencial Mitigación con Normas Urbanísticas
		MODERADA	Corresponden a los sectores aledaños las zonas de susceptibilidad alta o muy alta, los cuales también se encuentran deprimidos, y cuya diferencia topográfica es menor a 20 cm con	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC	TIPOS DE PELIGRO (según este informe)	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.	
				ÁREA NO CONSOLIDADA	ÁREA CONSOLIDADA
			respecto al nivel base promedio de su entorno. También corresponden a los sectores que se encuentran topográficamente deprimidos que no se encuentran directamente conectados a la red hidrográfica, y que no cuentan con antecedentes de anegamientos anteriores; en este caso la diferencia de altura con respecto al nivel base promedio es inferior a los 50 cm.		
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa (flujos de barro y/o detritos)	MUY ALTA	Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes mayores que 12°.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
		ALTA	Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes entre 8 y 12°.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
		MODERADA	Zonas cubiertas por los depósitos aluviales actuales (Ha) que presentan pendientes entre 5 y 8°.	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	Remociones en masa (procesos de ladera)	MUY ALTA	Zonas con pendientes mayores a 35°.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
		ALTA	Zonas con pendientes entre 25° y 35°.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
		MODERADA	Zonas con pendientes entre 15° y 25°.	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad	ALTA	No se puede zonificar el peligro a la escala del estudio.	No Aplica	No Aplica
	Volcanismo	NO EXPUESTO		No Aplica	No Aplica

Fuente: Elaboración propia. Equipamiento crítico corresponde a las instalaciones de salud, educación, seguridad e instituciones estatales.

9. REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

- Aguilera, F., Honores, C., Lemus, M., Neira, H., Pérez, Y., & Rojas, J. (2014). *Evaluación de los recursos geotérmicos de la Región de Los Lagos*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- 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.
- Ayala, F. (1985). *Geología y prevención de daños por inundaciones*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Baker, V., Kochel, R., & Patton, P. (1988). *Flood Geomorphology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 503 pp.
- Belmonte-Pool, J. (1997). *Análisis del contacto sismogénico interplaca a lo largo de Chile*. Santiago: Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, Universidad de Chile.
- Benito, G. (2002). *La paleohidrología en el análisis de inundaciones*. Barcelona: Ariel, Ariel Ciencia.
- Benito, G., Barriendos, M., Llasat, C., Francés, F., Ouarda, T., Thorndycraft, V., y otros. (2004b). *Use of Systematic, Paleoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. review of Scientific Methods*. *Natural Hazards*, 31, 623-643.
- Benito, G., Thorndycraft, V., Enzel, Y., Sheffer, N., Rico, M., & Sopeña, A. y.-M. (2004a). *Paleoflood data collection and analysis*. Madrid.
- Bertin, D., Amigo, Á., Mella, M., Astudillo, V., Bertin, L., & Bucchini, F. (2015). *Erupción del volcán Calbuco 2015: Estratigrafía eruptiva y volumen involucrado* (Servicio Nacional de Geología y Minería, Rudecindo Ortega 03850 ed.). Temuco: Unidad de Geología y Peligros Volcánicos, RNVV.
- Centeno, J., Fraile, M., Otero, M., & Pividal, A. (1994). *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid: Ed. Rueda.
- Clayton, J., & Antinao, J. (1998). *Geología preliminar de Fresia - Frutillar*. Escala 1:100.000. Escala 1:100.000.
- 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* (págs. 268-317). Berlin: Springer-Verlag.
- 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., & Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21(20), 2191-2194.
- Díez Herrero, A. (2002). *Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculos de caudales y calados*. Barcelona, España: Ariel, Ariel Ciencia.
- Díez, A., & Pedraza, J. (1996). *Procesos fluviales*. Madrid: Ruda.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

- 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.
- 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.
- Giardini, D. (1999). The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) - 1992/1999. *Annals of Geophysics*, v. 42(n. 6), p 957-974.
- Giraud, R., & Shaw, L. (2007). *Landslide Susceptibility Map of Utah*. . Utah Geological Survey, 16 p.
- 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.
- González-Ferrán, O. (1995). *Volcanes de Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.
- 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*, 25-26, 125-133.
- Hauser, A. (1997). *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.
- Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- JTC-1. (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98.
- Kausel, E., & Ramírez, D. (1992). Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos. *Revista Geofísica, Volumen 37*, pp. 36 - 194., 37, 36-194.
- Keeper, D. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), 406-421.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.
- Khazaradze, G., & Klotz. (2003). Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-Central Andes. *Journal of Geophysical Research*, 108, 1-13.
- Lange, D., Cembrano, J., Rietbrock, A., Haberland, C., & Dahm, T. (2008). First seismic record for intra-arc strike-slip tectonics along the Liquiñe-Ofqui fault zone at the obliquely convergent plate margin of the southern Andes. *Tectonophysics*, 455, 14-24.
- Lara, L., Orozco, G., Amigo, A., & Silva, C. (2011). *Peligros Volcánicos de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No.13: 34 p., 1 mapa escala 1:2.000.000*. Santiago.
- Lastra, J., Fernández, E., Díez-Herrero, A., & Marquínez, J. (2008). *Flood hazard delineation combining geomorphological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula*. *Natural Hazards*, 45(2), 277-293.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

- Marquínez, J., & Lastra, J. F. (2006a). *Metodología utilizada para cartografiar la peligrosidad de inundaciones en las cuencas del Norte*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Serie Medio ambiente, Riesgos Geológicos nº7.
- Marquínez, J., & Lastra, J. F. (2006b). *Estudio de inundabilidad en la ciudad de Sarria (Lugo)*. *Tecnoambiente*, 160, 76-79.
- 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.
- Mora, C. (2009). *Análisis del enjambre sísmico del fiordo de Aysén durante enero de 2007*. Santiago: Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geofísica, Universidad de Chile.
- Moreno, H. (1993). Erupciones volcánicas en Chile: procesos y riesgos asociados. I Jornadas Nacionales de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil. Pág. 161-170.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. A. (1989). *The Andes of Chile and Argentina In: Ericksen, 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.
- ONEMI. (2002). *Informe consolidado sistema frontal norte centro y sur 24 - 27 mayo 2002*. Santiago, Chile: Departamento de Protección Civil.
- ONEMI. (2009). *Informe Estadístico Sistemas Frontales Año 2008, Región de Los Lagos*. Santiago, Chile: 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.
- Ortega, J., & Garzón, G. (2006). *Interpretación de los depósitos de avenida como clave para establecer la dinámica de la llanura de inundación*. *Actas de la IX Reunión Nacioal de Geomorfología, Universidad de Santiado de Compostela*.
- Petit-Breuilh, M. (1995). *Geografía histórica y cronología eruptiva de los volcanes: Tronador; Yate Apagado-Hornopirén, Huequi-Michinmávida-Chaitén, Corcovado y Yanteles-Nevado: Segundo Informe de Avance*. 20 pp. Temuco: SERNAGEOMIN.
- Petit-Breuilh, M. (1999). *Cronología Eruptiva Histórica de los volcanes Osorno y Calbuco*. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín No. 53, 45p*. Santiago.
- Petit-Breuilh, M. E. (1999). *Cronología eruptiva histórica de los volcanes Osorno y Calbuco (41° - 41° 30,5) X Región, Chile*. *Boletín - Instituto de Investigaciones Geoilógicas*, v. 1(n. 53), p. 1-46.
- Petit-Breuilh, M. E. (2003). *El efecto de los desastres naturales en las ciudades chilenas (siglos XVI al XX). Proyecto de Investigación*. Servicio Nacional de Geología y Minería.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), 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.
- Ramos, V. A., Jordan, T. E., Allmendinger, C., Mpodozis, C., Kay, S. M., Cortés, J. M., y otros. (1986). Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 855-880.
- Sancho, C. (1997). Los mapas de riesgos. En J. Peña (Ed.), *Cartografía geomorfológica básica y aplicada* (págs. 181-200). Zaragoza: Geomorfa.
- Scholz, C. (1990). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.
- 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*, 80, 336-348.
- Sepúlveda, S., Serey, A., Lara, M., Pavez, A., & Rebolledo, S. (2010). Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia. *Landslides*, doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. Publicación Geológica Digital, N°4*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- SERNAGEOMIN. (2015). *Ranking de los 90 volcanes activos de Chile”, nómina actualizada al 2015*. Disponible en: <http://www.sernageomin.cl/archivos/Ranking-de-Volcanes.pdf>.
- Siebert, L., & Simkin, T. (2002). *Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions*. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3, (<http://www.volcano.si.edu/world/>).
- Sierra, C. (1982). *Características Edáficas y climáticas de la X Región*.
- Smithsonian Institution. (s.f.). *Global Volcanism Program Worldwide Holocene Volcano and Eruption Information*. Recuperado el 15 de Febrero de 2012, de National Museum of Natural History: <http://www.volcano.si.edu/>
- 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*(11), 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.
- Suárez, G., & Comte, D. (1993). Comment on “Seismic coupling along the Chilean subduction zone” by B.W. Tichelaar and L.R. Ruff. *Journal of Geophysical Research*, 98, 15825-15828.
- SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*. Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

- Susa, D. (2004). *Evaluación del peligro sísmico asociado a sismos de tipo interplaca en Chile y sur del Perú utilizando una distribución bi-paramétrica de Weibull*. Santiago: Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Tassara, A., Götze, H.-J., Schimdt, S., & Hackney, R. (2006). Three dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Tichelaar, B. W., & Ruff, L. J. (1993). *Depth of seismic coupling along subduction zones*, *Jour. Geoph. Res.*, 98, pp. 2017-2037.
- Urrutia, R., & Lanza, C. (1993). *Catástrofes de Chile 1542-1992*.
- 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*, 3, 1-61.
- Watt, S. (2010). *Records of volcanism and controls on volcanic processes in southern Chile*. . Oxford: Ph.D. Thesis. Worcester College and the Department of Earth Sciences, University of Oxford.
- Western Washington University. (2011). *RELIEF GLOBE SLIDES*. Recuperado el 28 de 11 de 2011, de <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg>

ANEXOS

ANEXO A	Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe	A-1
ANEXO B	Descripción Peligros Geológicos Analizados	B-1
ANEXO C	Metodologías consideradas para el análisis de la susceptibilidad de inundaciones y remociones en masa	C-1
ANEXO D	Cartas de parámetros morfométricos	D-1
ANEXO E	Catastro de peligros geológicos.....	E-1

ANEXO A Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe

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 inventario, 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, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

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); González de Vallejo et al., (2002); JTC1, (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, Ferre, Ortuño, & Oteo, 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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

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, Ferre, Ortuño, & Oteo, 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 FIGURA A-1 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

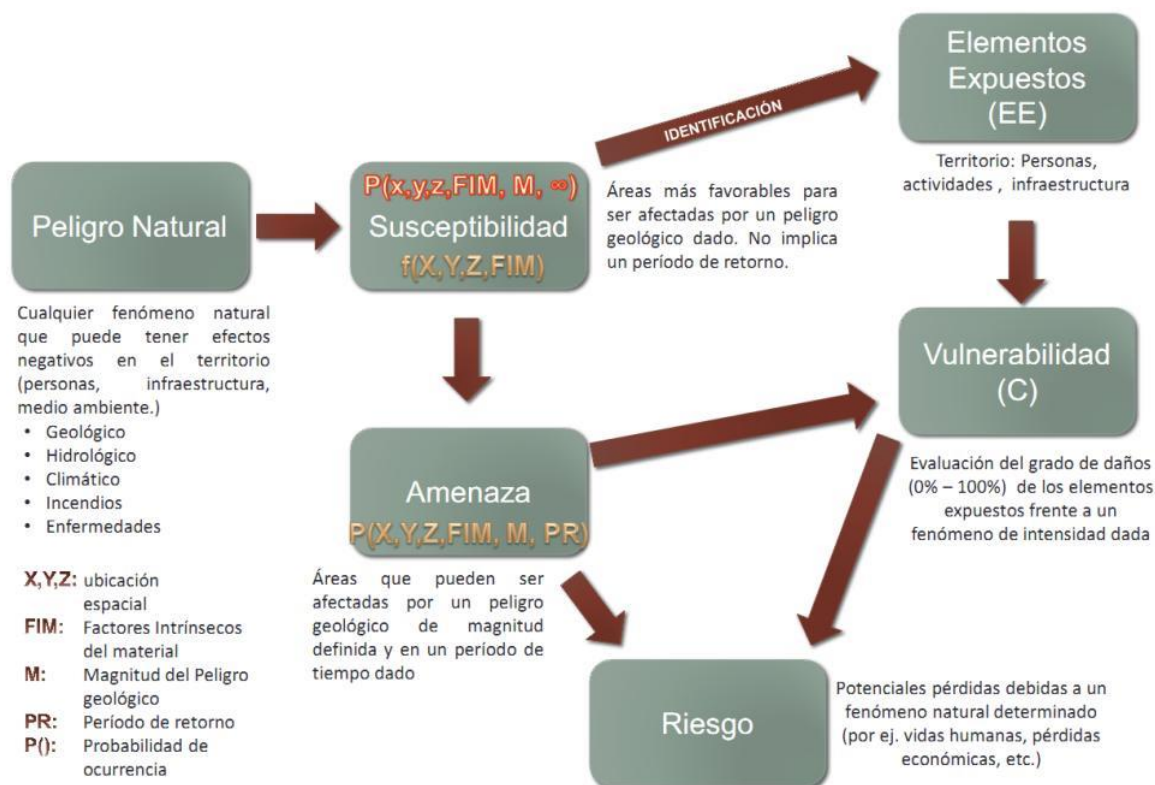
La definición de riesgo, o áreas de riesgo, utilizadas internacionalmente difieren a la nomenclatura propuesta por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 2.1.17. En la OGUC, el concepto utilizado de riesgo corresponde a la definición de "Peligro Natural" definida internacionalmente.

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.

FIGURA A-1 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

ANEXO B Descripción 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.

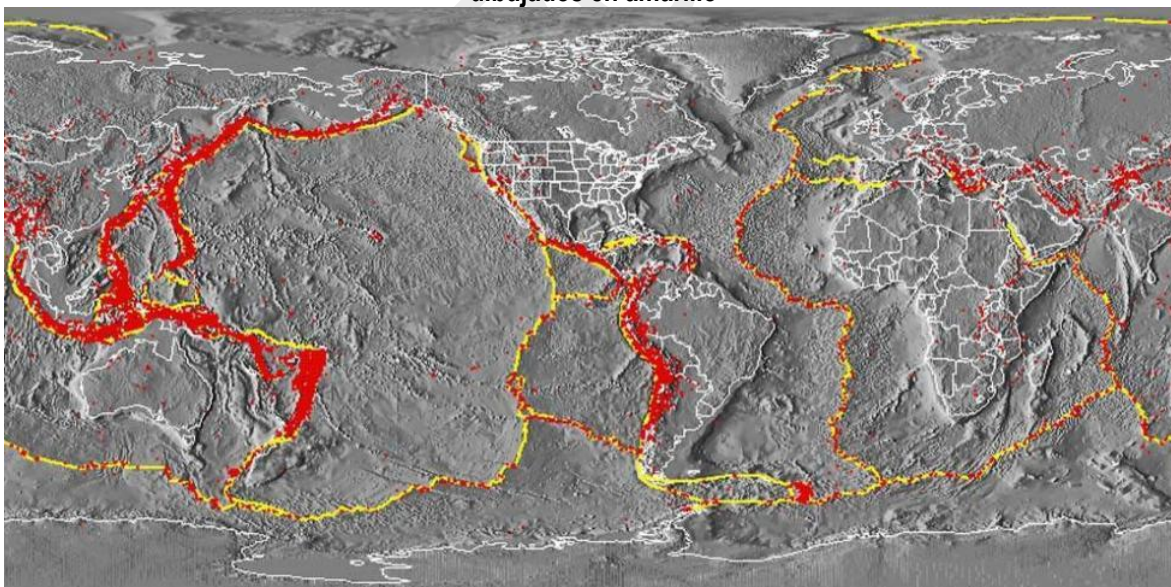
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los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

B.1 Procesos Internos o Endógenos de la Tierra

B.1.1 Sismicidad

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 FIGURA B-1 ilustra 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.

FIGURA B-1 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo

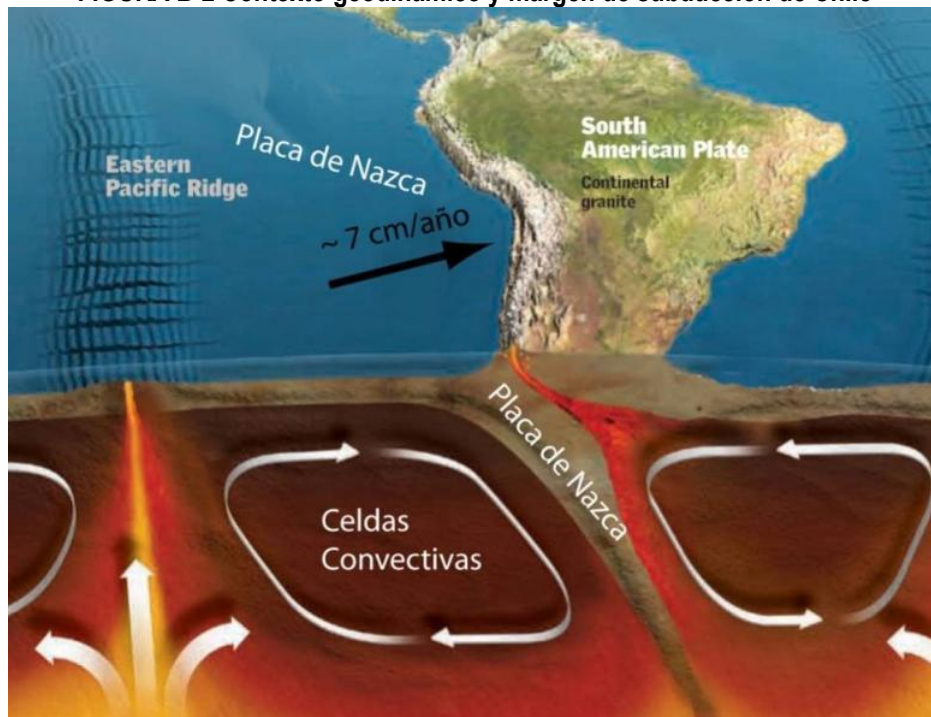


Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 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 (FIGURA B-2). 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).

FIGURA B-2 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 FIGURA B-3, 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.

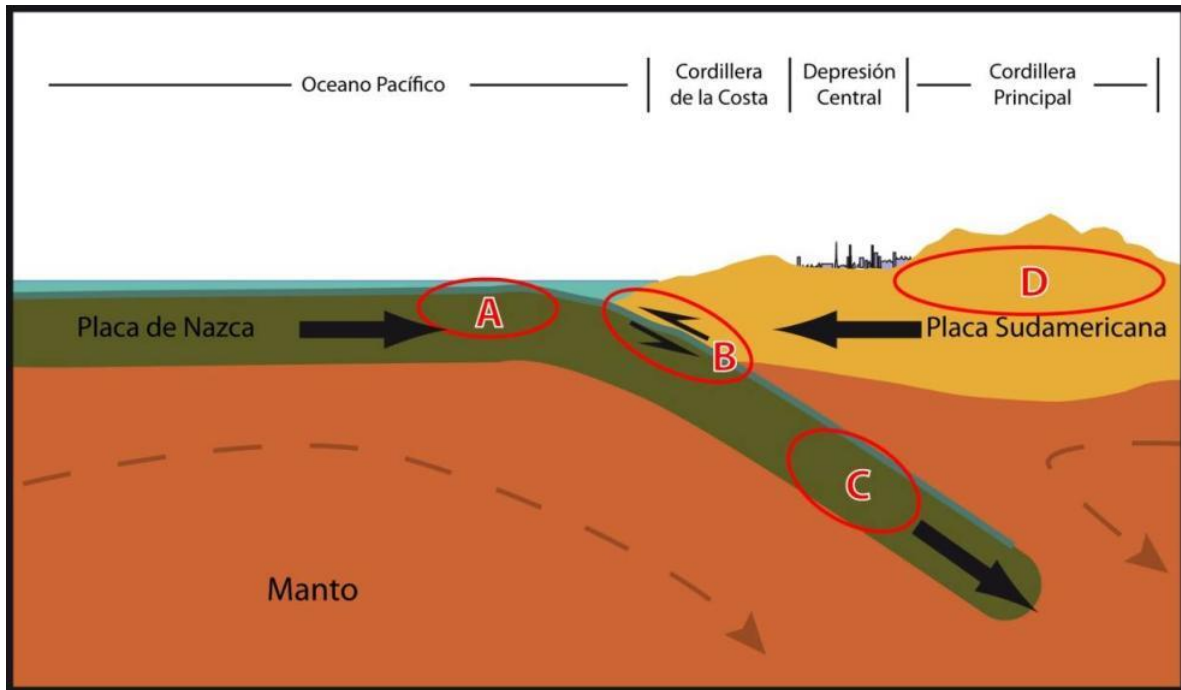
Zona B: Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.

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.

FIGURA B-3 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)

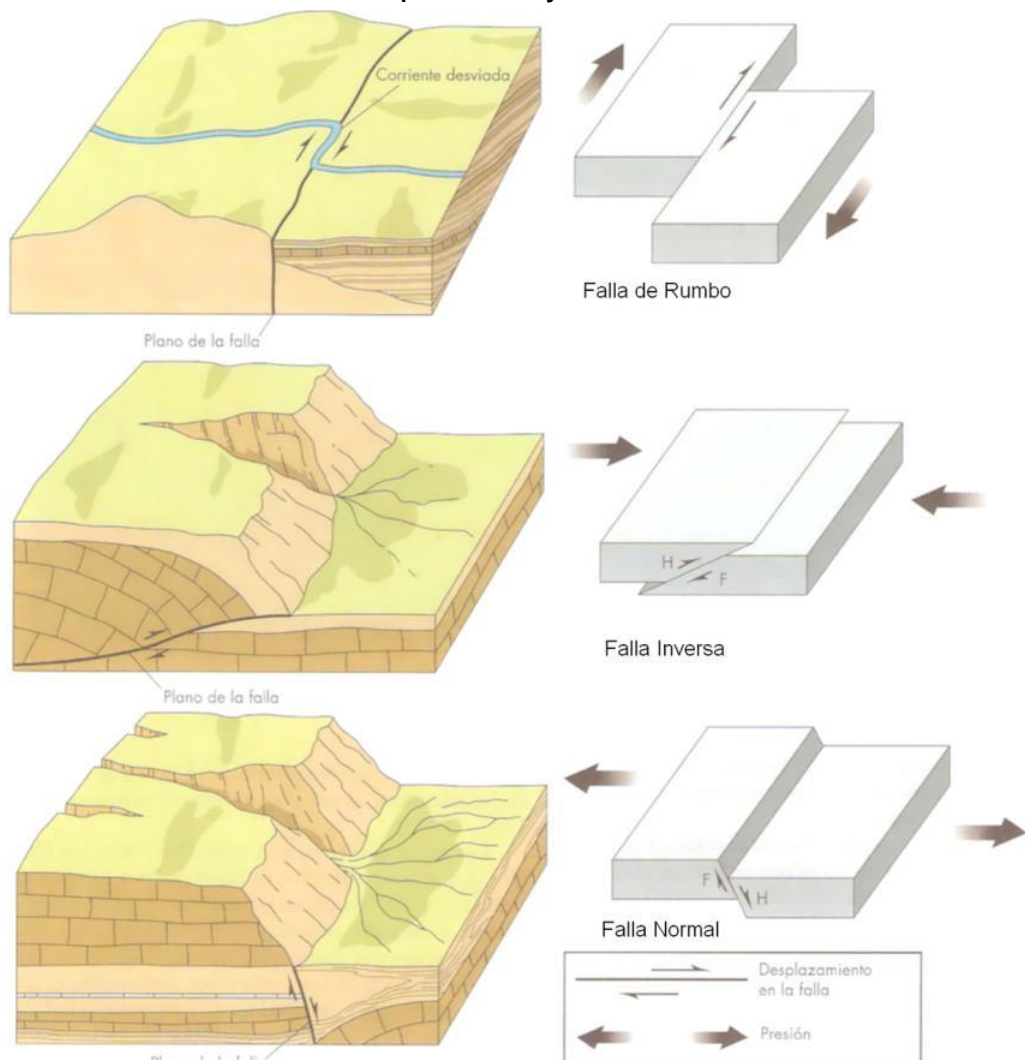


Fuente: Elaboración propia.

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 a su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (FIGURA B-4). 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 (FIGURA B-5). 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.

FIGURA B-4 Tipos de Falla y esfuerzos asociados

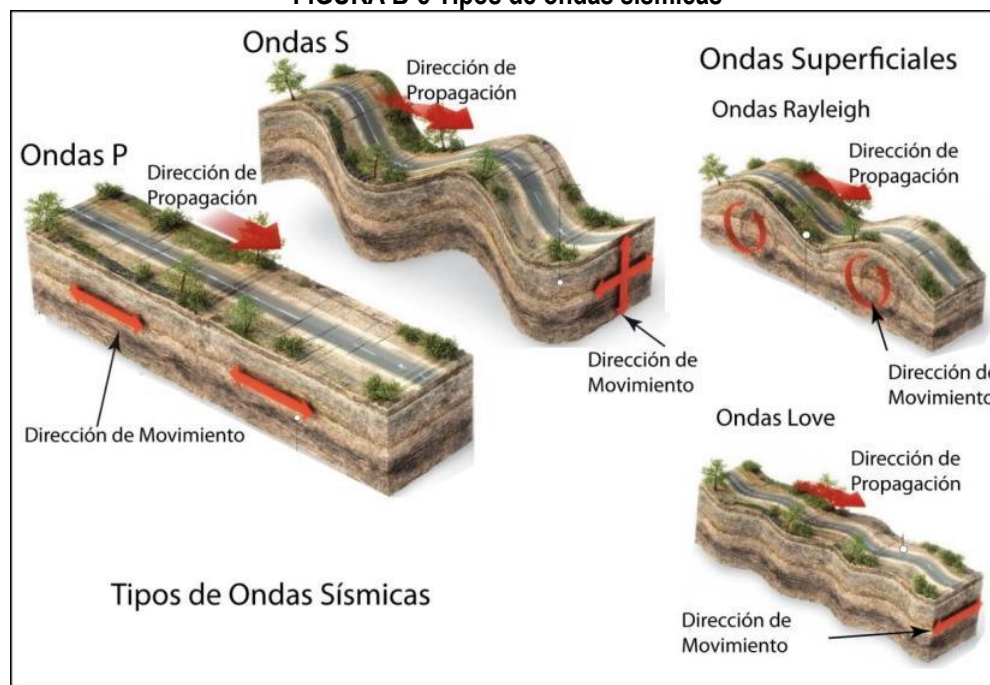


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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.).

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 (FIGURA B-6).

FIGURA B-5 Tipos de ondas sísmicas

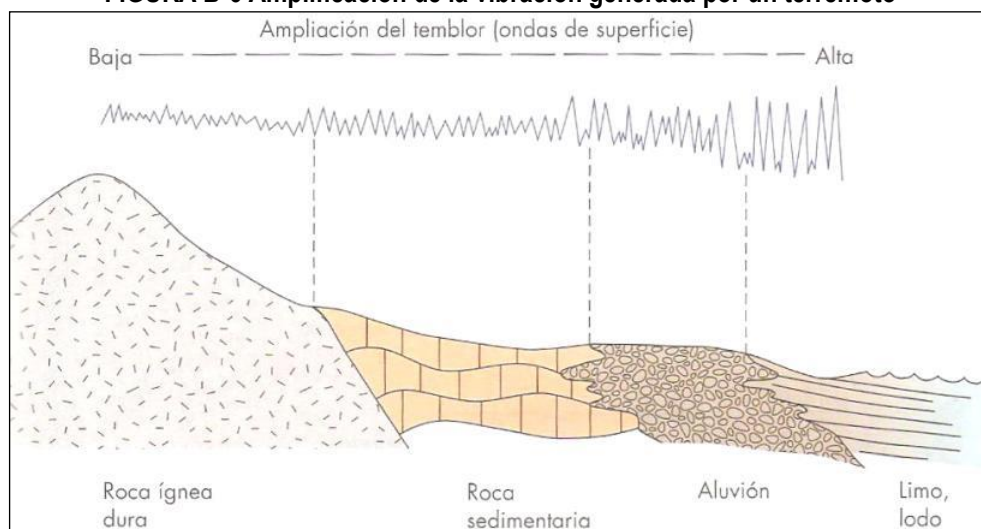


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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. 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 Keeper (1984); Sepúlveda, et al. (2005); (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)). Para más detalle acerca de estos procesos ver el Anexo B.2.2 "Procesos de Remoción en Masa".

FIGURA B-6 Amplificación de la vibración generada por un terremoto



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

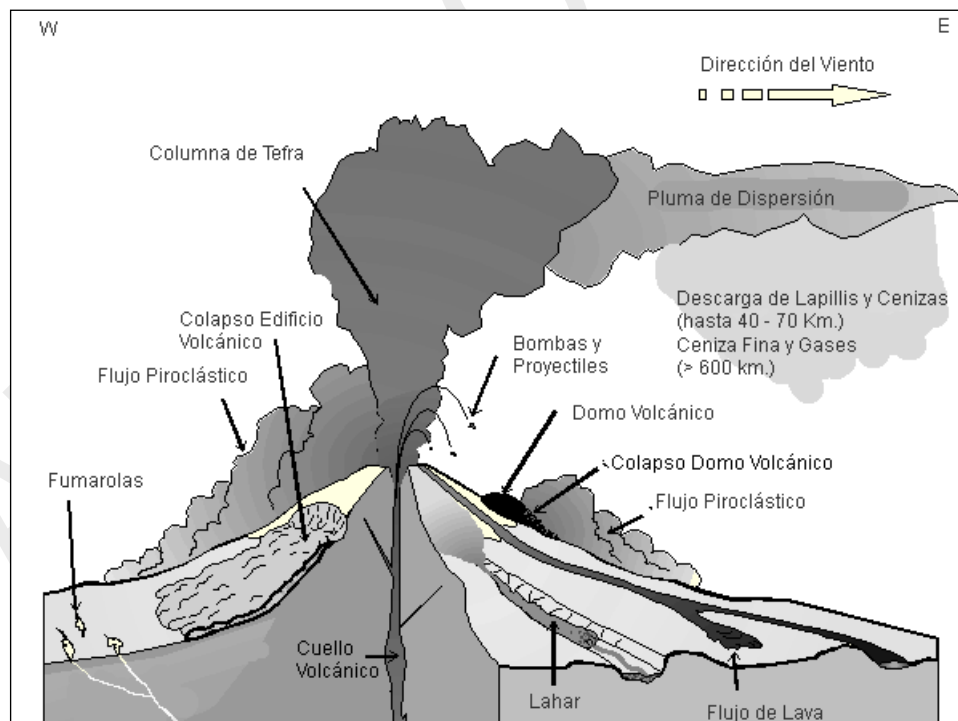
Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

B.1.2 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 FIGURA B-7 y en el CUADRO B-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.

FIGURA B-7 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y 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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

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 O. , 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 O. , 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.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

CUADRO B-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
	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).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

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.

B.2 Procesos Exógenos o Externos de la Tierra

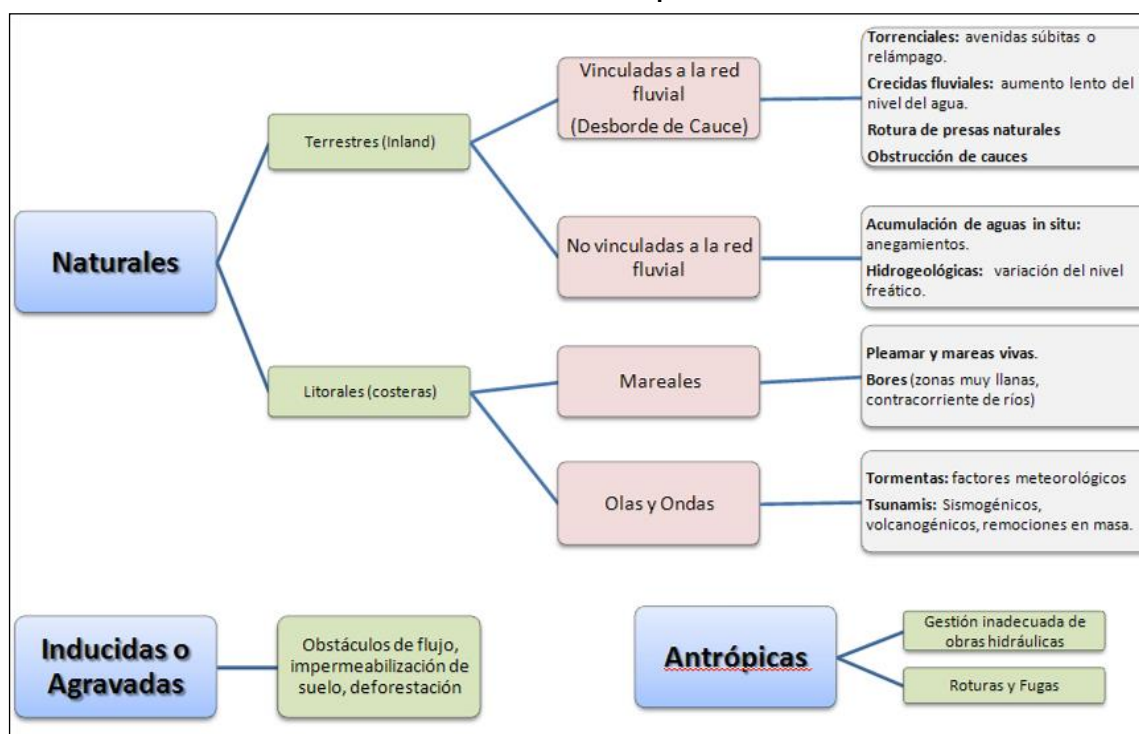
B.2.1 Inundaciones Terrestres y Litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA B-8): (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. 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.

FIGURA B-8 Clasificación de los tipos de inundaciones



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

B.2.1.1 Inundación por Desborde de Cauces

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 continua, 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.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

Los efectos en la población y sus actividades estarán dados por:

- Tiempo de aviso: En general, las inundaciones por desborde de cauce tienen un tiempo de aviso suficiente, ya que 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 y no sea evacuada oportunamente, 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) con un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

B.2.1.2 *Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias 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.

B.2.2 *Procesos de Remoción 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 (FIGURA B-9). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

B.2.2.1 *Desprendimientos o Caída 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). Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, 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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

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.

B.2.2.2 *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 (FIGURA B-10). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

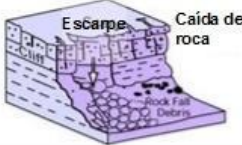
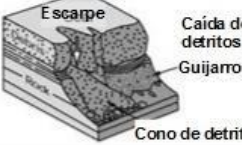



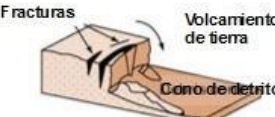

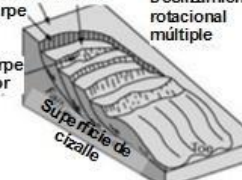
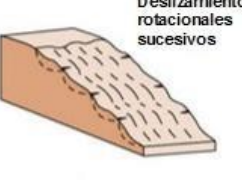


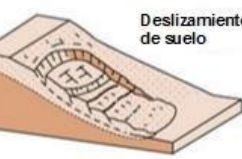


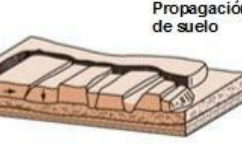
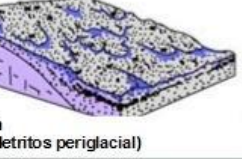
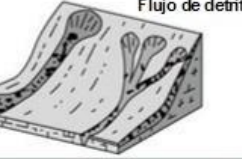



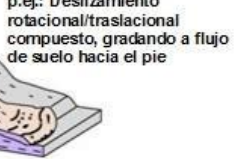
Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que este caiga por su propio peso (FIGURA B-11). Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas al acantilado costero. Los mismos procesos de erosión ocurren en valles con erosión fluvial activa.

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.).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA B-9 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA				
		Caída de roca	Caída de detritos Guijarros Cono de detrito	Caída de suelo Coluvio Cono de detrito
VOLCAMIENTO				
		Volcamiento de roca	Volcamiento de detrito Cono de detrito	Volcamiento de tierra Cono de detrito
DESPLAZAMIENTO	Rotacional			
	Traslacional (planar)			
PROPAGACION				
		Estructura subhorizontal normal Quebradas Coertura de roca Limolita arcillosa Adelgazamiento de estratos Plano de despegue Sustrato competente	Levantamiento del valle (arrazado por erosión) Estructura inclinada	Propagación de suelo
FLUJO				
		Solifluxión (Flujo de detritos periglacial)	Flujo de detritos	Flujo de suelo (flujo de barro)
COMPLEJO				
		p.ej.: Deslizamiento de suelo con detritos de caída de rocas	p.ej.: Deslizamiento rotacional/traslacional compuesto, gradando a flujo de suelo hacia el pie	

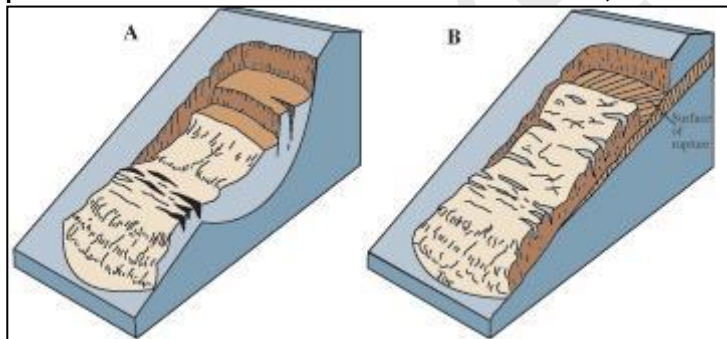
Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996).
Disponibile en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

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.

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

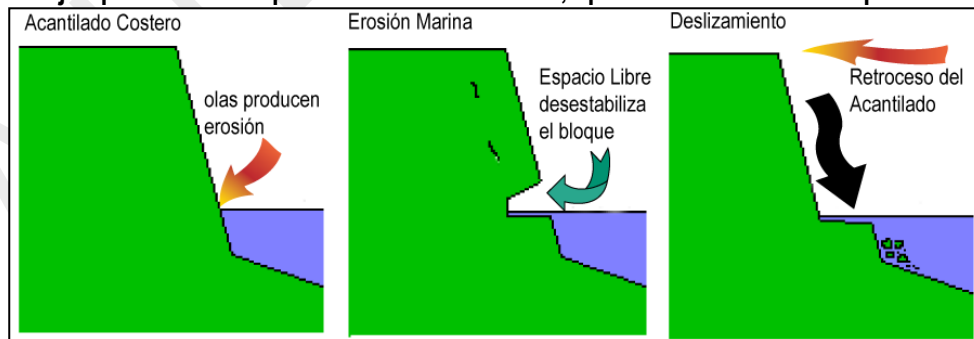
- Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: 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.

FIGURA B-10 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>

FIGURA B-11 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

B.2.2.3 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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 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 deposición, 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 (Naranjo & Varela, 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.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

- 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.

ANEXO C Metodologías consideradas para el análisis de la susceptibilidad de inundaciones y remociones en masa

C.1 Metodologías consideradas para el análisis de la susceptibilidad de inundación

Según Díez-Herrero *et al.* (2008), el método de análisis de la peligrosidad de inundaciones se debe realizar según los criterios que se muestran en la FIGURA C-1. Para este informe, se utilizaron los siguientes métodos:

Los **métodos históricos** emplean marcas y placas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc.), documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y testimonios (orales o audiovisuales) para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el periodo histórico. Una aplicación simple de esta metodología consiste en suponer que si el agua alguna vez ha alcanzado ciertos niveles puede alcanzarlos también en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como “de crecida histórica”.

Los **métodos geológicos-geomorfológicos** emplean la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras el evento de avenida. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes y, por tanto, susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, su frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir órdenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga sólida transportada. Estas técnicas consideran fenómenos naturales difícilmente modelizables con otras técnicas, como avulsiones, migraciones del canal o el transporte de sólidos, y tener en cuenta las tendencias evolutivas naturales del sistema fluvial. Estos métodos y sus aplicaciones son usados por muchos autores, podemos encontrar estudios Ayala, (1985), Baker, et al., (1988), Díez & Pedraza (1996), Díez Herrero (2002), Marquínez & Lastra (2006a), Marquínez & Lastra (2006b), Ortega & Garzón (2006), Lastra, et al. (2008)).

Los **métodos botánicos y paleohidrológicos** del registro geológico emplean determinados tipos de depósitos o marcas de las inundaciones pretéritas (anteriores al periodo histórico o de las cuales no se dispone de información histórica), en relación con elementos datables mediante técnicas paleontológicas, dendrocronológicas, radiométricas (^{14}C , OSL, TL, etc.) o arqueológicas. De esta forma puede igualmente asignarse una probabilidad de ocurrencia a los caudales resultantes de la modelización hidráulica a partir de esos niveles y velocidades, integrándose de la misma forma en el análisis estadístico de caudales como datos no sistemáticos (Benito, 2002; Benito, Thorndycraft, Enzel, Sheffer, Rico, & Sopena, 2004a; Benito, y otros, 2004b). Esta metodología no fue considerada, dado que el costo asociado a dataciones radiométricas, además del tiempo de elaboración de estos análisis, se encuentran fuera del costo y tiempo asociado a la elaboración de un estudio de riesgos para un Plan Regulador.

Los **métodos hidrológicos** persiguen, respectivamente, la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de las velocidades y calados con los que circularán por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos pueden partir de los datos de caudales, aplicando análisis estadísticos de los valores máximos; o de los datos de precipitación, mediante modelos hidrometeorológicos de transformación precipitación-escurrimiento basados en fórmulas y métodos como el racional, hidrograma unitario, PMP-PMF, onda cinemática, etc. Esta metodología fue descartada en función de que no se contó con los registros de precipitaciones y caudales históricos en el área de estudio, que permitan construir relaciones entre la precipitación y la escurrimiento superficial, y además, considerando que los métodos geológicos-geomorfológicos cubren un periodo de retorno mayor al asociado a las series temporales de precipitación y escurrimiento. Sin embargo, se utilizó información hidrometeorológica, como precipitaciones y alturas de escurrimiento, de manera referencial, para evaluar la susceptibilidad asociada a los peligros existentes.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

Los **métodos hidráulicos**, tampoco fueron considerados, ya que esto está fuera de los alcances y plazos de este estudio. En efecto, para generar modelos hidráulicos que permitan definir zonas de riesgo por inundación, se requeriría trabajar a escala 1:500 ó 1:100. Además, se necesitarían una gran cantidad de parámetros que, por la escala de trabajo del PRC (1:5.000) y los alcances de este estudio, no están disponibles (anchuras del cajón del río o estero, alturas limnigráficas, alturas de las terrazas, calados, resguardos, coeficientes de Manning (rugosidad), caudales, precipitaciones, áreas aportantes, coeficientes de escorrentía, etc.), datos que serían necesarios para cada cauce a analizar. Además, se considera que generar un modelo con pocos datos, con pocas horas de dedicación y de una escala grande generaría zonas de inundación imposibles y podría subestimar o sobreestimar, introduciendo más ruido que soluciones.

En consideración de lo anterior, sólo se utilizarán los métodos históricos y geológicos-geomorfológicos para la zonificación de susceptibilidad del peligro de inundaciones.

FIGURA C-1 Análisis de la peligrosidad de inundaciones o inundabilidad



Fuente: Modificado de Diez-Herrero, et al., (2008).

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

C.2 Metodologías consideradas para el análisis de la susceptibilidad de remociones en masa

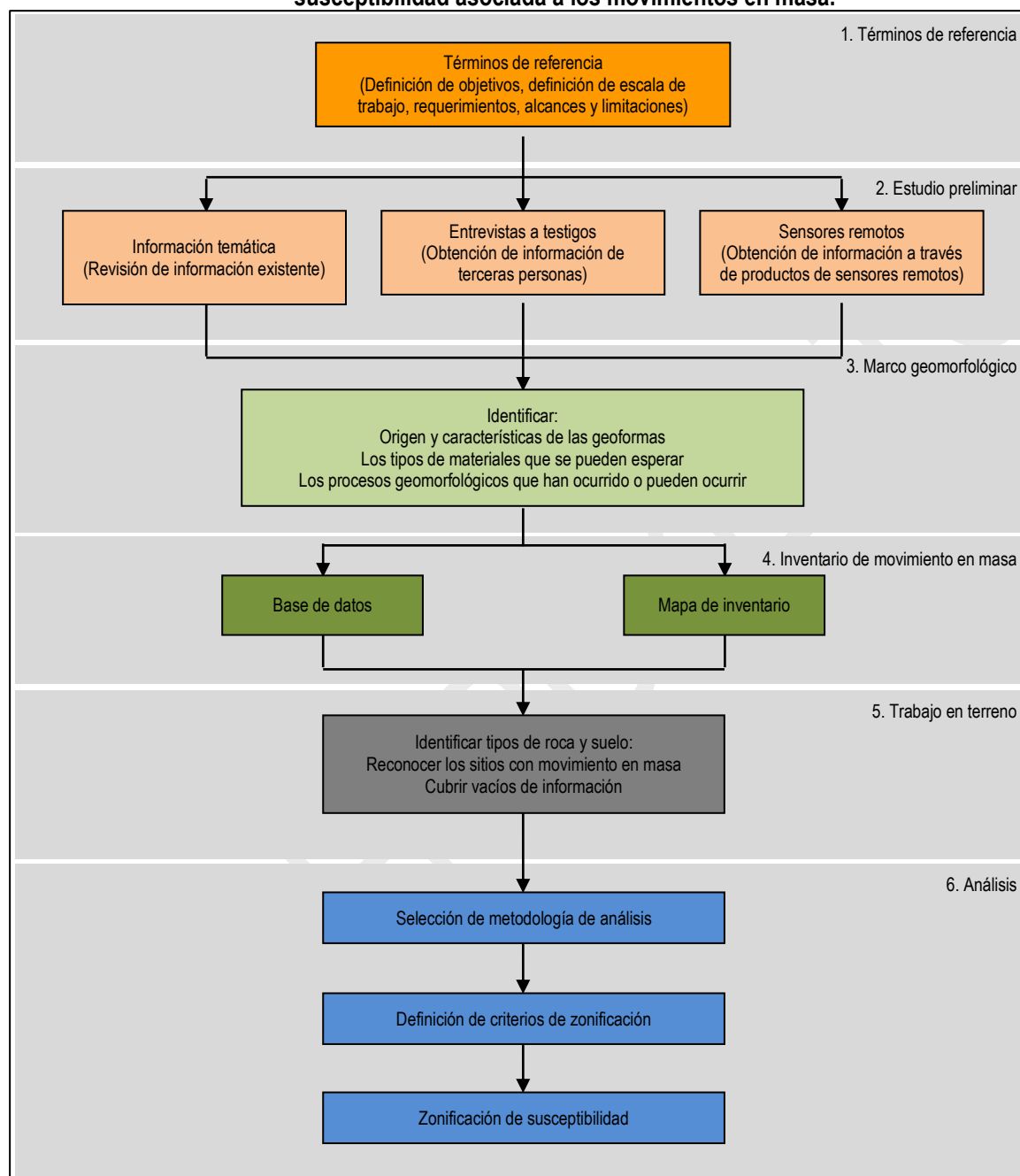
Para la zonificación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa, se seguirán las recomendaciones de la *International Association of Engineering Geology* (IAEG) y la guía para zonificación de amenazas de remociones en masa propuesta por el PMA-GCA (2007).

En el estudio de riesgo de un Plan Regulado Comunal no se contempla la investigación de subsuelo (Métodos directos y Geofísica), ni mediante instrumentación, que son etapas incluidas en la metodología descrita por el PMA-GCA (2007), ya que queda fuera del alcance de un estudio de estas características, por la escala del estudio, y por el tiempo y presupuesto destinado a este. Por otra parte, en general, no existe información suficiente para zonificar la amenaza de los procesos de remoción en masa, de manera que en la metodología que se presenta a continuación sólo se zonifica susceptibilidad (ver el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

En consideración a lo descrito en el párrafo anterior, los pasos para zonificar la susceptibilidad asociada a los procesos de remoción en masa se resume en las siguientes etapas (FIGURA C-2):

1. Términos de referencia: En esta etapa se incluye la definición del objetivo de la investigación, la escala de trabajo, los requerimientos de la institución que la realiza, de los clientes y del público, y de los alcances y las limitaciones.
2. Estudio preliminar: Durante esta etapa se recopila la información temática (mapas topográficos, informes geológicos, etc.), de ser posible se entrevista a testigos presenciales y analizan fotografías aéreas e imágenes satelitales de distintos períodos de tiempo (para evaluar la temporalidad de los eventos y el estado de conservación de los depósitos).
3. Marco geomorfológico: El objetivo es establecer el marco geomorfológico de cada lugar, para lo cual se necesita identificar las características y origen de las geoformas en el área, los tipos de materiales que se pueden esperar, y los procesos geomorfológicos que han ocurrido o puedan ocurrir.
4. Inventario de movimientos en masa: Todas las ocurrencias de movimientos en masa próximas a la localidad son registradas en un mapa de inventario y en una base de datos que incluya: tipo de movimiento en masa, magnitud, tiempo de ocurrencia o de su reactivación y datos similares. En la próxima etapa, el inventario se actualizará para incorporar la información recogida durante el trabajo en terreno.
5. Trabajo en terreno: Durante el reconocimiento, se identificarán los tipos de suelos y de rocas y los sitios con movimientos en masa, con el objetivo de validar la información recopilada, y se cubrirán los vacíos de información.
6. Análisis: En función de la información recopilada en las etapas anteriores y del alcance y el propósito del estudio, se escoge un método de análisis, que se traduce en criterios de zonificación de las áreas susceptibles a ser afectadas por procesos de remoción en masa. Con estos criterios, se zonifica el área de estudio.

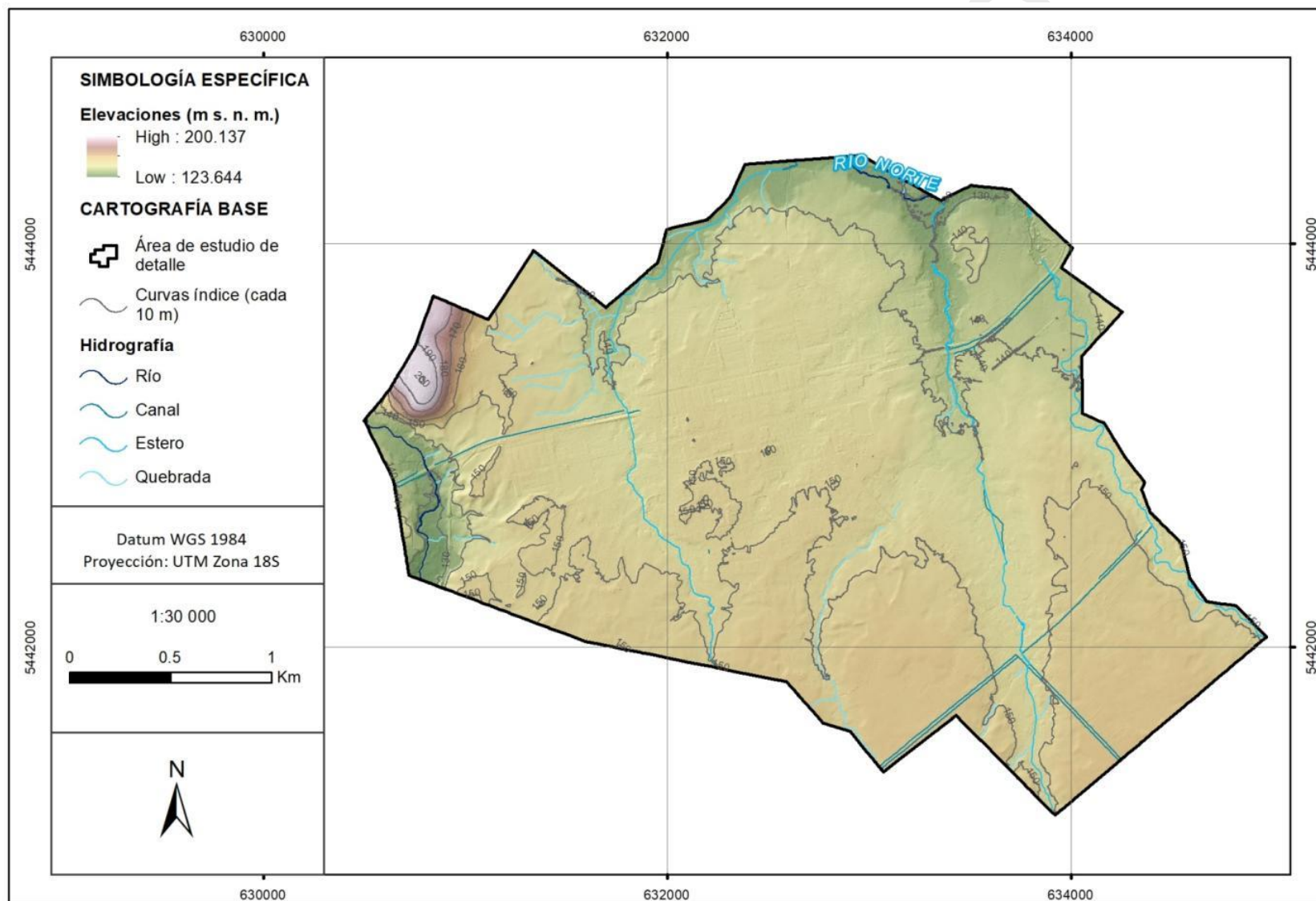
FIGURA C-2 Adaptación de la metodología propuesta por PMA-CGA (2007) para la evaluación de la susceptibilidad asociada a los movimientos en masa.



Fuente: Elaboración propia en base a PMA-GCA (2007).

ANEXO D Cartas de parámetros morfométricos

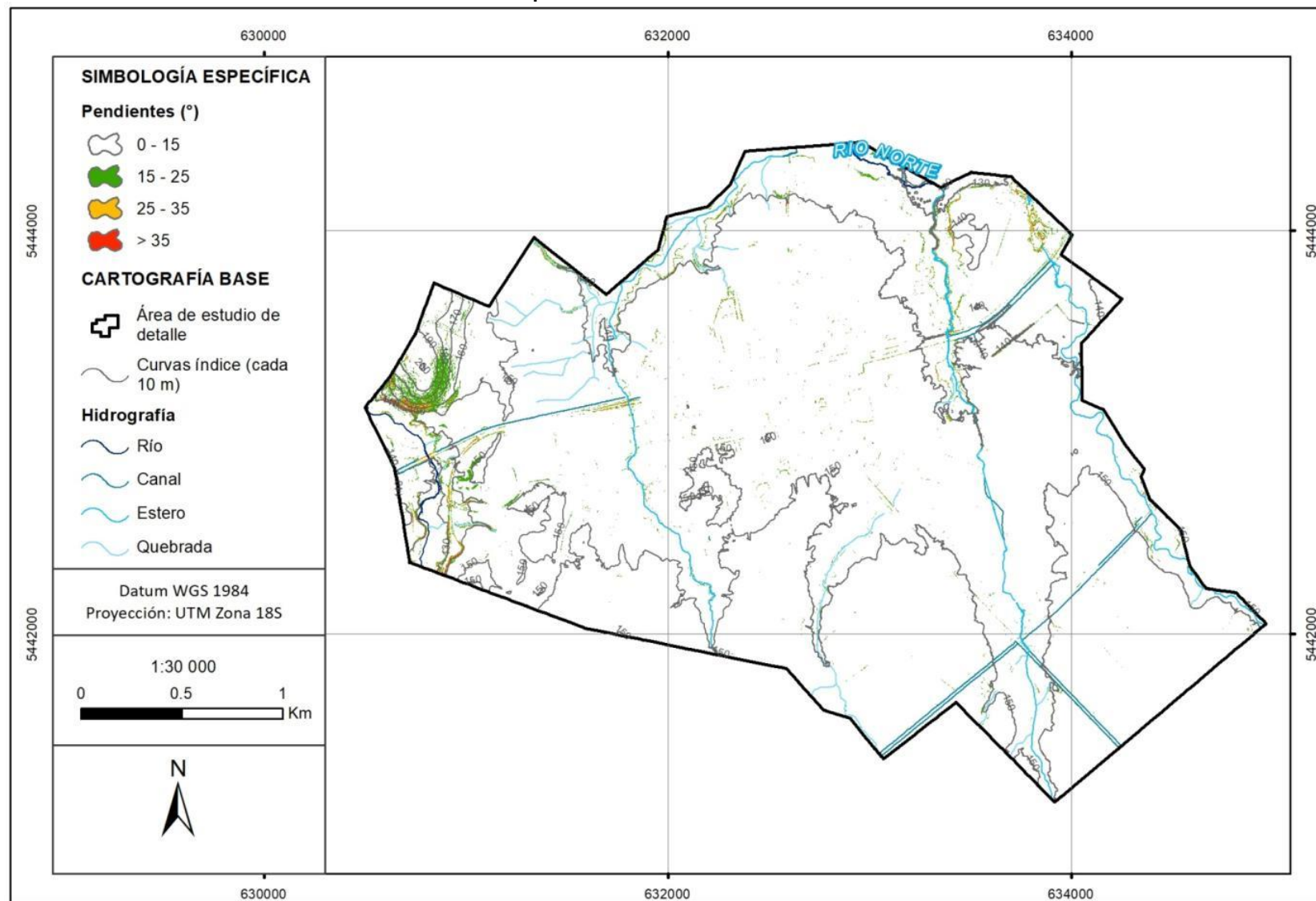
FIGURA D-1 Carta de elevaciones del área de estudio de detalle de Fresia.



Fuente: Elaboración propia a partir de DTM de 1 m por pixel.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

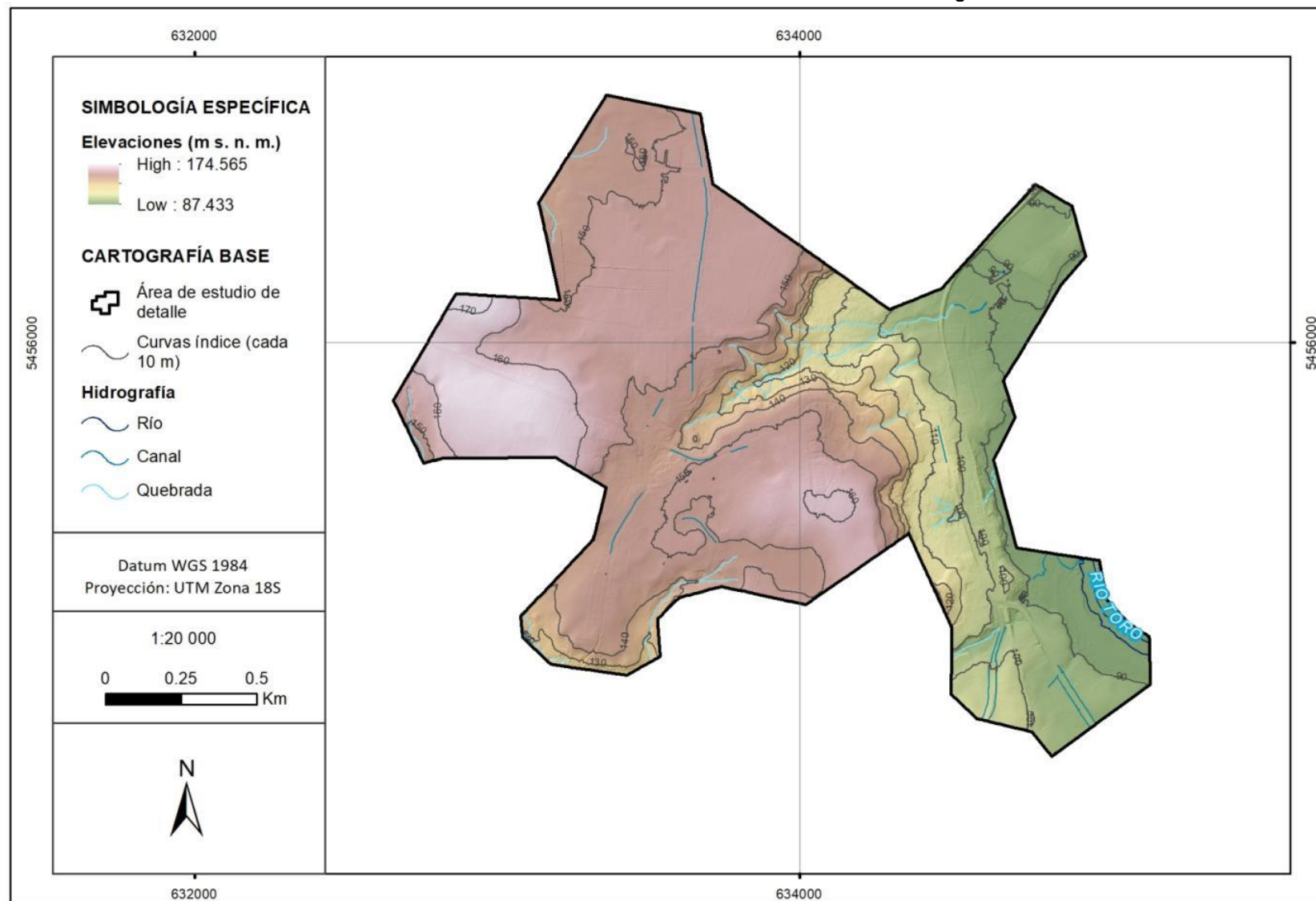
FIGURA D-2 Carta de pendientes del área de estudio de detalle de Fresia.



Fuente: Elaboración propia a partir de DTM de 1 m por pixel.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

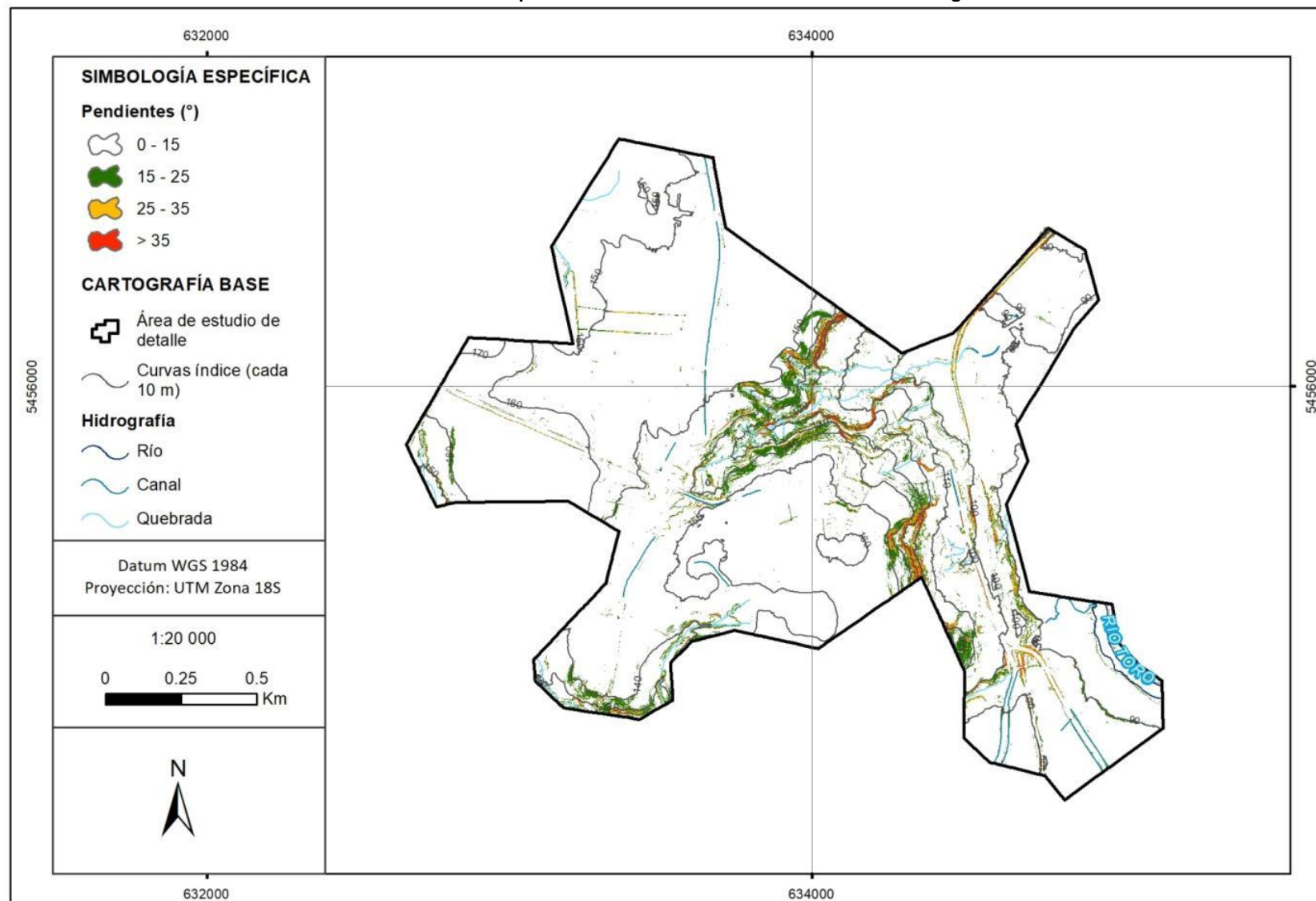
FIGURA D-3 Carta de elevaciones del área de estudio de detalle de Tegalda.



Fuente: Elaboración propia a partir de DTM de 1 m por pixel.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

FIGURA D-4 Carta de pendientes del área de estudio de detalle de Tegualda.



Fuente: Elaboración propia a partir de DTM de 1 m por pixel.

ANEXO E Catastro de peligros geológicos

E.1 Inundaciones y remociones en masa

En el CUADRO E-1 se indica una serie de eventos de inundaciones que han afectado a la comuna de Fresia y alrededores desde el año 1877 hasta el 2017.

CUADRO E-1 Catastro de inundaciones terrestres que han afectado a sectores cercanos a la comuna.

EVENTO (AÑO)	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Temporales de 1877	A mediados de julio de 1877 se produjeron fuertes temporales que afectaron desde el desierto de Atacama hasta Chiloé. En Valdivia y Chiloé se produjo además un fuerte huracán de viento y lluvias, el cual destruyó la torre de la capilla del seminario de Ancud y derribó la escuela de Quetalmahue.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1893	Se describe un evento de inundación para la zona de Puerto Montt en el año 1893, producto de las fuertes lluvias que afectaron a la zona. Estas lluvias dejaron intransitables los caminos. Varias personas debieron abandonar sus casas. El área más afectada fue en las cercanías de la laguna Tagua Tagua.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1921	Entre los días 5 y 10 de mayo de 1921, un temporal afectó entre Illapel y Ancud, interrumpiendo principalmente el tráfico ferroviario y las comunicaciones telegráficas. En Valdivia, hubo corte de energía, el río Calle Calle se desbordó por ambas orillas y se volaron techos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1922	En los meses de junio, julio y agosto de 1922, un frente de mal tiempo azotó a la zona comprendida entre Concepción y Chiloé, dejando varios muertos, daños en las poblaciones, en la agricultura y decenas de damnificados. En Chiloé se desbordó el río Pudeto, se deterioró la línea del ferrocarril y se interrumpieron las comunicaciones telegráficas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1929	Entre el 9 y 10 de agosto de 1929 un fuerte temporal azotó el territorio entre Antofagasta y Puerto Montt. La mayoría de las ciudades sufrieron anegamientos en sectores bajos y fuertes vientos que botaron árboles y postes.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1932	En abril de 1932, un temporal azotó a la zona. Hubo inundaciones en Valdivia, principalmente en las poblaciones Playa Ancha y Collico, y derrumbes de cerros que interrumpieron el tráfico ferroviario, principalmente en los sectores cercanos a La Unión, Osorno y Puerto Montt. Pequeñas localidades quedaron aisladas al desbordarse los esteros.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1934	Entre el 17 de mayo y 4 de junio de 1934 hubo temporales desde Copiapó a Magallanes, dejando pérdidas humanas, de animales, damnificados, daños en caminos, casas, en puentes y vías férreas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1949	El 19 de mayo de 1949 se inició un temporal de lluvia y viento que azotó al país desde Aconcagua hasta la Antártida. En Puerto Montt se inundaron edificaciones, se rebalsaron los desagües. El lago Llanquihue sepultó ochenta y seis casas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1950	En 1950 durante el mes de junio hubo grandes daños entre Concepción y Puerto Montt, a causa de fuertes lluvias. En Puerto Montt se anegaron calles, casas de los barrios bajos, caminos principales quedaron en pésimo estado, y hubo pérdidas de animales.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1951	Durante la segunda quincena de mayo llovió doce días entre Concepción y Puerto Montt.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1958	En mayo de 1958 el caserío de Pudeto, en las inmediaciones del río del mismo nombre, sufrió serias inundaciones que impidieron el tránsito durante varios días por el camino troncal de Ancud a Chacao y de Ancud a Linao. Además, el camino longitudinal de Ancud a Castro, en el sector de Butralcura, sufrió derrumbes de consideración, interrumpiendo las comunicaciones terrestres y telegráficas. Otro temporal afectó entre Valparaíso y Chiloé en junio	Urrutia y Lanza (1993)

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

EVENTO (AÑO)	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Temporales de 1961	Los temporales del año 1961 generaron fuertes lluvias y vientos que afectaron la zona ubicada entre Valparaíso y Ancud.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1965	En 1965 Chiloé sufrió los efectos de las lluvias y de fuertes vientos que barrieron con modestas viviendas y volaron gran cantidad de techos. El 14 de agosto de ese mismo año una enorme crecida de marea, con olas de más de diez metros, obligó a los isleños a evacuar sus casas y dirigirse hacia las partes altas. En el sector de Pudeto la cancha de aviación y gran cantidad de viviendas se inundaron, quedando la población aislada.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1969	Durante los primeros días de julio, violentos temporales afectaron la zona sur, con características de catástrofe en Valdivia, Osorno, La Unión y Cautín.	Urrutia y Lanza (1993)
Inundaciones de 1970	Un frente de mal tiempo de más de tres días de duración afectó en julio de ese año a las zonas entre Illapel hasta Puerto Montt. En Puerto Varas, Puerto Montt y Llanquihue hubo alrededor de trescientas familias damnificadas al deteriorarse sus viviendas con el viento y la lluvia.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporales de 1976	Entre el 26 y el 30 de mayo, un fuerte temporal de viento, lluvia y nieve cortó caminos, puentes, tendidos de energía eléctrica y de teléfonos entre Antofagasta y Aysen. A mediados de junio llovió durante 10 días en gran parte de la zona sur	Urrutia y Lanza (1993)
Inundaciones y temporales de 1979	Lluvias torrenciales, vientos huracanados y nevazones afectaron desde la V región al sur en 1979. En Puerto Montt, durante octubre, fuertes lluvias causaron un derrumbe de un cerro que aplastó a un campamento de pescadores de la zona de Corhuín.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1980	Desde el 10 de mayo, los temporales desde Puerto Montt hasta Juan Fernández. En Puerto Montt, el viento obligó a suspender las faenas del puerto.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1981	Entre abril y junio varios frentes azotaron desde el Norte Chico al sur. En Puerto Montt se cortaron vías férreas, y hubo vientos de más de 100 km/h. En la provincia de Llanquihue hubo 200 familias damnificadas, albergadas en escuelas y recintos municipales. Viviendas inundadas, techumbres arrancadas por el viento, sin comunicación por caída de árboles y corte de cables de alta tensión.	Urrutia y Lanza (1993) www.desinventar.org (registros 81-119 y 81-134)
Temporales de 1982	Varios temporales afectaron a gran parte del país durante este año. En las dos primeras semanas de junio, la región de Los Lagos sufrió los efectos de un temporal que ocasionó daños en caminos, puentes y viviendas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1988	Un temporal que afectó la zona desde Concepción hasta Puerto Montt, dejó puentes y caminos cortados, casas se destruyeron por el desborde de ríos y varias localidades quedaron aisladas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1990	Afectó desde la zona central al sur del país. Fuertes lluvias y vientos de más de 100 km/h dejaron viviendas anegadas, dejó puentes y caminos cortados.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 1991	En diciembre ocurrió un temporal que provocó el desborde del río Esperanza, afectó a agricultores, hubo pérdidas de trigo y papas.	www.desinventar.org (registro 91-601)
Temporal de 1992	Un temporal de viento y lluvia se desató en la X región a partir del 19 de febrero. Dejó casas dañadas por inundaciones, cortes de caminos y derrumbes afectaron la zona.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal de 2000	Temporal provoca inundación de viviendas y pérdidas de forraje.	www.desinventar.org (registro 00-283)
Temporal de 2008	Como consecuencia de temporal ocurrido durante julio, hubo en Fresia 170 damnificados y 700 aislados.	El Mostrador ¹⁶

¹⁶ <http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2008/07/17/mas-de-mil-damnificados-y-unos-1-400-aislados-por-temporal-en-el-sur/>, consultado el 20-10-2017.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

EVENTO (AÑO)	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Inundaciones de 2014	En junio y agosto ocurrieron temporales que provocaron inundaciones cortes de caminos. En la comuna de Fresia, estos ocurrieron en el río Llico, que cortó varios caminos, dejando, en el segundo de estos, 500 personas aisladas..	www.mop.cl ¹⁷ www.gobernacionllanquihue.gov.cl ¹⁸ www.cronicalibre.cl ¹⁹
Inundaciones de 2015	Como consecuencia de un temporal ocurrido en mayo, se cortó el puente del camino Repil. En julio, nuevamente el río Llico interrumpió el camino.	www.ahoranoticias.cl ²⁰ www.soychile.cl ²¹
Inundaciones de 2017	En mayo y agosto, nuevamente las localidades costeras quedaron aisladas como consecuencia de las inundaciones.	www.fresiaahora.cl ²²

Fuente: Elaboración propia.

E.2 Volcanismo

A continuación, se reseñan las características geológicas principales de los 8 centros eruptivos activos más cercanos a la comuna de Fresia, y se señala, para cada uno de ellos la ubicación en el “Ranking de Peligrosidad de los volcanes activos de Chile”, elaborado por el SERNAGEOMIN.

- Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle

El Complejo Volcánico Puyehue - Cordón Caulle es un conjunto de centros emisores coalescentes pleistoceno-holoceno. Entre los volcanes principales que forman este complejo, cuya arquitectura es la de un alineamiento de rumbo NW-SE, se encuentra la caldera Cordillera Nevada, el estratovolcán Puyehue y el volcán fisural Cordón Caulle²³. Este complejo es el campo volcánico más voluminoso al sur de la región del Maule y alberga el segundo mayor campo geotérmico de los Andes del Sur.

El volcanismo de este campo volcánico comenzó aproximadamente hace 0,3 Ma con efusiones principalmente máficas y continuó con erupciones dacíticas-riolíticas postglaciales. Las erupciones más recientes, tanto del volcán Puyehue como del Cordón Caulle, cubren un rango más estrecho dominando riodacitas y riolitas. Este complejo volcánico es también uno de los más activos de los Andes del Sur, ocupando el puesto N°11 en el ranking de los volcanes activos más peligrosos de Chile (SERNAGEOMIN, 2015). En los últimos 100 años han ocurrido 3 erupciones importantes: 1921-22; 1960 y 2011-12; todas ellas en el Cordón Caulle. En cada una de estas erupciones recientes se evacuó magma riodacítico con volumen cercano a 1 km³.

¹⁷ <http://www.mop.cl/Prensa/Paginas/DetalleNoticiaSecundaiaMp.aspx?item=1582>, consultado el 20-10-2017.

¹⁸ <http://www.gobernacionllanquihue.gov.cl/noticias/corte-de-caminos-aluviones-inundacion-de-viviendas/>, consultado el 20-10-2017.

¹⁹ <http://www.cronicalibre.cl/2014/08/04/mas-de-500-personas-estan-aisladas-en-zona-rural-de-fresia-por-inundaciones/>, consultado el 20-10-2017.

²⁰ <http://www.ahoranoticias.cl/chile/regiones/141119-los-lagos-viviendas-danadas-y-40-personas-damnificadas-por-sistema-frontal.html>, consultado el 20-10-2017.

²¹ <http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/Sociedad/2015/07/19/334993/Crecida-del-Rio-Llico-interrumpe-conectividad-terrestre-en-7-localidades-de-Fresia.aspx>, consultado el 20-10-2017.

²² <https://www.fresiaahora.cl/noticias/ultima-hora-impactantes-imagenes-del-pesimo-estado-de-caminos-en-la-comuna>, consultado el 20-10-2017.

<https://www.fresiaahora.cl/index.php/noticias/sos-desde-sectores-rurales-de-fresia-ante-graves-consecuencias-por-frente-de-mal-tiempo>, consultado el 20-10-2017.

²³ <http://www.sernageomin.cl/archivos/Volcanes/2012091304582290FichaVnPuyehueCord%C3%B3nCaulle.pdf>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

González-Ferrán (1995) describe la erupción de diciembre de 1921, la cual consistió de una erupción fisural en el extremo noroeste del cordón. La primera fase eruptiva se caracterizó por violentas expresiones y emisión de grandes cantidades de material piroclástico, llegando el material de ceniza fina hasta 25.000 m de altura. Luego en enero de 1922 se observaron diversas corrientes de lavas, las que avanzaron predominantemente hacia el norte por el valle del río Riñinahue. Grandes cantidades de lava viscosa de bloques de composición dacítica se emitieron en esta erupción.

La erupción de mayo de 1960 ocurrió horas después del gran terremoto de Valdivia (). Esta erupción se inició con una gran explosión que emitió grandes cantidades de ceniza formando una columna eruptiva de 8.000 m. Vientos provenientes principalmente del oeste y noroeste transportaron el material hacia el lado argentino. En el sector chileno se registraron precipitación de cenizas en la zona cordillerana de Panquipulli y Ensenada. La segunda fase eruptiva consistió en emisión de lavas dacíticas en dirección suroeste, a causa de la alta viscosidad de la lavas de bloques su extensión fue reducida (González-Ferrán O. , 1995).

Para la erupción de 2011-2012, explosiones generaron una columna de cenizas, que alcanzó hasta 12 km de altura (aprox.). Se desarrollaron varios flujos piroclásticos que se formaron por colapsos de la pluma, los cuales se dirigieron por el valle del río Nilahue. Debido a la influencia del viento, el material de la columna de ceniza afectó países como Argentina, Uruguay, incluso Australia y Nueva Zelanda ().

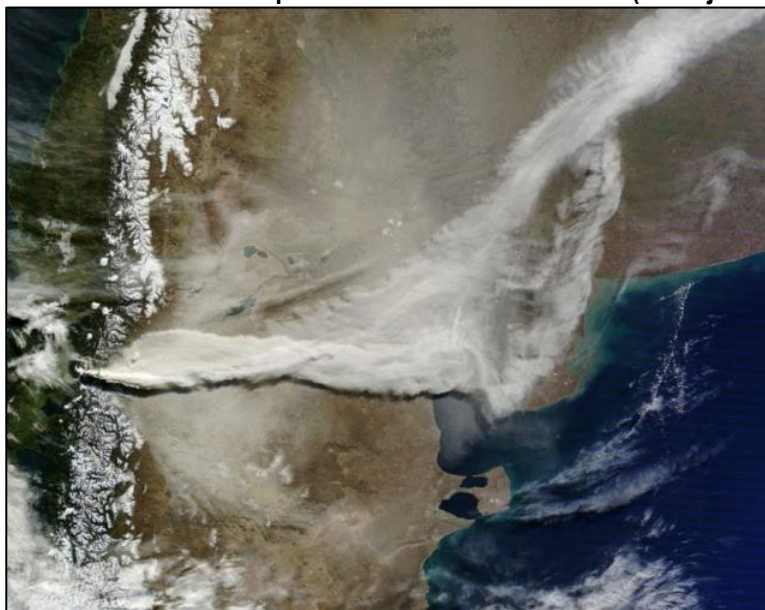
En relación al Volcán Puyehue, este se constituye por una antigua caldera que se compone de lavas y piroclastos basálticos de olivino y piroxenos. Sobre esta caldera se conformó un estratovolcán, cuyas lavas y piroclastos corresponden a dacitas. Finalmente, este volcán culmina con una caldera de 2 km de diámetro. La actividad eruptiva del volcán Puyehue, ha generado numerosos lahares que alcanzaron hasta el valle central (González-Ferrán O. , 1995).

FIGURA N° 9-1 Erupción del Cordón Caulle en 1960



Fuente: González-Ferrán (1960) obtenida desde <http://www.volcano.si.edu/> (Smithsonian Institution)

FIGURA N° 9-2: Evolución de la pluma de cenizas hacia el este (13 de junio de 2011)



Fuente: Disponible en http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Eruption_of_Puyehue-Cordon_Caulle_volcano%2C_Chile%2C_06-13-2011.jpg?uselang=es

- Volcán Puntagudo-Cordón Cenizos

Este complejo volcánico está compuesto por el volcán Puntagudo y por la Fisura Cordón Cenizos. El volcán Puntagudo corresponde a un estratovolcán de edad Pleistocena; su cuello se caracteriza por estar constituido por brechas y aglomerados volcánicos muy inestables que pueden generar avalanchas de rocas y su composición corresponde a basaltos andesíticos (González-Ferrán O. , 1995). Este complejo ocupa el puesto N°43 en el ranking de los volcanes activos más peligrosos de Chile (SERNAGEOMIN, 2015).

- Volcán Osorno

Estratovolcán que se constituye de un primer edificio volcánico de lavas basálticas y piroclastos, de edad Pleistoceno Superior Holoceno. Una fase posterior eruptiva ha formado una caldera y dos domos dacíticos, para luego constituirse un nuevo edificio volcánico compuesto por lavas basálticas a andesíticas. Durante tiempos históricos ocurre una serie de erupciones parásitas en torno a su base, emitiendo flujos de lava andesítica-basáltica y piroclastos. El volcán Osorno se reactivó en 1835 a través de una fisura de rumbo noroeste. En dicha erupción se formaron 6 conos piroclásticos y flujos de lava andesítica-basáltica (González-Ferrán O. , 1995). Se ubica en el puesto N° 14 del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile (SERNAGEOMIN, 2015).

- Volcán Calbuco

Es un estratovolcán compuesto que inicia su fase eruptiva en el Pleistoceno Superior. El macizo volcánico inicial se construyó a partir de abundantes flujos de lavas andesíticas y andesíticas-basálticas y habría alcanzado unos 2000 m de altura, para luego ser fuertemente erosionado por glaciares. Un segundo ciclo eruptivo emitió grandes volúmenes de lavas y piroclastos, generando un nuevo estrato-cono. El tercer ciclo eruptivo da cuenta de actividad en el Holoceno, con grandes emisiones de lavas y piroclastos andesíticos y andesíticos basálticos. Desde la formación de este volcán han ocurrido deslizamientos gravitacionales y flujos laháricos, los que han afectado principalmente el sector ubicado al norte de este estratovolcán (González-Ferrán O. , 1995).

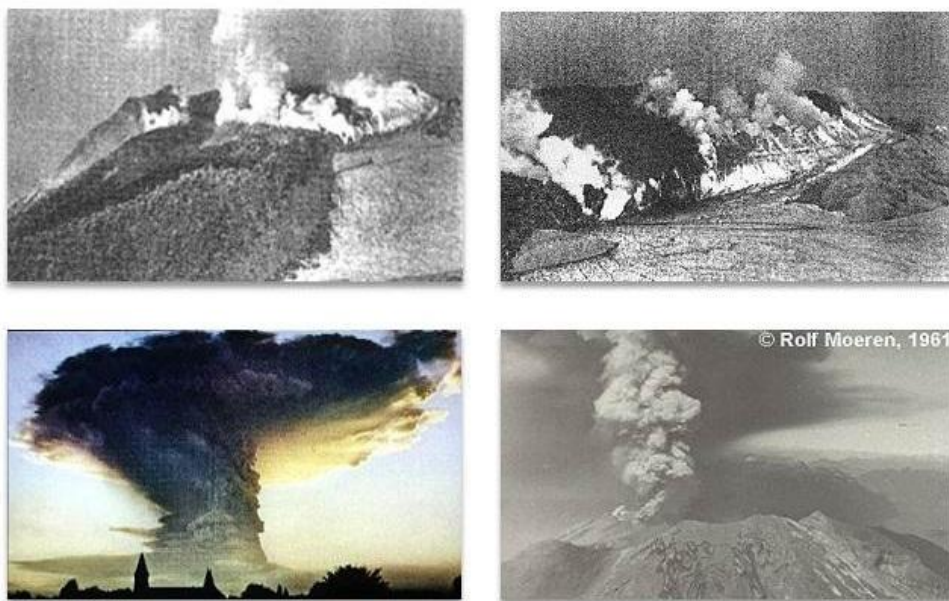
PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

En 1961 se desató una erupción subpliniana que originó lahares calientes, flujos de lava y un hongo de vapor y piroclastos que alcanzó una altura estimada de 12 km (). Se registraron violentas fumarolas hasta febrero de 1962 (González-Ferrán O. , 1995).

Durante el año 2015 se inició una nueva fase eruptiva que consistió en 2 pulsos de alta energía (22 y 23 de abril) y 1 pulso de baja energía (30 de abril). El primer pulso se caracterizó por una erupción subpliniana, con una duración de 1,5 horas, la cual generó una columna eruptiva de 15 km s. n. m. que se dispersó hacia el noreste. El segundo pulso también fue de carácter subpliniano, duró alrededor de 6 horas y generó una columna eruptiva de 17 km s. n. m., con una marcada dispersión hacia el noreste. Este segundo pulso provocó flujos laháricos y piroclásticos, con daños de diversa consideración. El tercer pulso tuvo una duración de 2 horas, y generó una columna grisácea de 5 km s. n. m. cuya dispersión de material piroclástico fue hacia el sureste, afectando hasta las localidades de Ralún y Cochamó (Bertín (2015)). Según lo sugerido por los Reportes de Actividad Volcánica del SERNAGEOMIN, la autoridad mantuvo una zona de exclusión de 20 km alrededor del volcán, desde la cual fueron evacuadas 6.600 personas²⁴. Dado que el Calbuco presenta intensa actividad y una alta frecuencia eruptiva, se espera que en el futuro ocurran nuevas erupciones generadoras de lahares, flujos de lava y tefra, las que constituyen un alto riesgo para las poblaciones e instalaciones asentadas en el perímetro de su base (González-Ferrán O. , 1995). El volcán Calbuco se ubica en el puesto N° 3 del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile (SERNAGEOMIN, 2015).

FIGURA N° 9-3 Episodio eruptivo del volcán Calbuco ocurrido entre el 25 de Enero al 9 de Marzo de 1961



Fuente: <http://noticiasdealerce.blogspot.com/2008/06/asi-fue-la-erupcion-del-volcan-calbuco.html>

- Volcán Cayutué – Ralún- Viguera

Corresponde a un nido de centros eruptivos monogénicos formado por más de una decena de cráteres y conos de piroclastos asociados a extensos flujos de lava basáltica, que se encuentran ligados a la actividad de la falla Liquiñe-

²⁴ <http://www.onemi.cl/noticia/autoridades-cifran-en-6-600-personas-evacuadas-en-volcan-calbuco/>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Ofqui (González-Ferrán, 1995). Rellenan la depresión de la ensenada de Cayutué hacia el sur, separando el Lago Todos los Santos de la Bahía de Ralún y presentan una altitud promedio de 500 m s. n. m.

En la , se muestra la ubicación referencial del grupo volcánico Ralún y del estratovolcán Cayutué (según Lara et al., (2011)), y se marca la zona aproximada donde están distribuidos los conos monogenéticos descritos por González-Ferrán (1995) y SERNAGEOMIN (1995). El grupo Ralún y el volcán Cayutué se ubican en los puestos N° 73 y 75, respectivamente, del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile elaborado por el SERNAGEOMIN.

- Volcán Yate

Corresponde a un estrato-volcán elongado compuesto, con una secuencia de seis centros eruptivos fisurales, controlados por una fractura de rumbo N25°W, traslapados entre sí a lo largo de 7,5 km, flujos de lava y piroclastos con composición andesítica basáltica (González-Ferrán O. , 1995). Tiene una altitud de 2.111 m s. n. m. Aunque no existen registros históricos de erupciones, los rasgos morfológicos frescos de los centros parásitos monogenéticos estarían indicando una edad probablemente histórica.

En la , se muestra la ubicación referencial del volcán Yate, el que se ubica en el puesto N° 17 del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile elaborado por el SERNAGEOMIN.

- Volcán Hornopirén

Corresponde a un estrato-cono, constituido por lavas y piroclastos basálticos (53,05% SiO₂), ligado a la actividad de la zona de falla Liquiñe Ofqui (González-Ferrán O. , 1995). Tiene una altitud de 1.572 m s. n. m. El volcán habría estado en erupción el año 1835.

En la , se muestra la ubicación referencial del volcán. El volcán Hornopirén se ubica en el puesto N° 36 del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile elaborado por el SERNAGEOMIN.

- Volcán Apagado - Hualaihué

El volcán Apagado o Hualaihué corresponde a un estratovolcán con una caldera de explosión, cuya estructura cratérica alcanza unos 6 km de diámetro, abierta hacia el suroeste (González-Ferrán O. , 1995). La actividad post caldera corresponde a la formación de dos conos de piroclastos, acompañados de un pequeño flujo de lava de composición basáltica.

El volcán Apagado se ubica en el puesto N° 46 del ranking de volcanes activos más peligrosos de Chile elaborado por el SERNAGEOMIN.

CUADRO E-2 Registro de principales erupciones volcánicas históricas

Centro volcánico	Producto Volcánico	Fecha erupción	Referencia
Complejo Puyehue-Cordón Caulle	Erupción Explosiva	1759	Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción fisural del tipo estromboliana con emisión de lava	1893	González-Ferrán (2003) Petit-Breuilh, (1995)
	Explosiones con emisiones de cenizas	08-02-1914	Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción estromboliana con emisión de lava	Fines de 1919	Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción fisural explosiva con emisión de coladas de lava	13-12-1921 al 02-1922	González-Ferrán (2003) Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción explosiva	1926	Petit-Breuilh, (1995)

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Centro volcánico	Producto Volcánico	Fecha erupción	Referencia
	Explosiones con emisiones de tefra pumícea	07-01-1929	González-Ferrán (2003) Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción fisural explosiva, con sismos y ruidos subterráneos	03-1934	González-Ferrán (2003) Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción fisural explosivas con emisión de lava. Asociada a terremoto de Valdivia (M=9,5)	24-05-1960	González-Ferrán (2003) Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción estromboliana	01-03-1972	Petit-Breuilh, (1995)
	Erupción explosiva con grandes volúmenes de emisiones de cenizas, se levantaron extensas plumas, las que desarrollaron flujos piroclásticos por su colapso. Lluvia de cenizas cubre sectores aledaños, así como Argentina, Uruguay, Australia, Nueva Zelanda.	27-04-2011- 2012	Reportes SERNAGEOMIN ²⁵
Puntiagudo-Cordón Cenizos	Posibles erupciones en las fechas indicadas, pero no existen fuentes directas que relaten su actividad eruptiva.	07-04-1930	Urrutia & Lanza, 1993
Osorno	Posibles erupciones en las fechas indicadas, pero no existen fuentes directas que relaten su actividad eruptiva.	1575 – 1640 – 1644?	Petit-Breuilh, 1999
	Primera erupción documentada. No hay detalles de la naturaleza de la erupción, ni de los materiales emitidos.	1719	Petit-Breuilh, 1999
	Erupción que habría coincidido con un fuerte sismo que afectó la zona de Valdivia.	1737	Petit-Breuilh, 1999
	Explosiones débiles en su cráter central.	1765	Petit-Breuilh, 1999
	Ciclo eruptivo caracterizado por explosiones en su cráter central.	1778 (Fines) - 1779	Petit-Breuilh, 1999
	Ciclo eruptivo que dio origen a un cono parásito sobre el sector oriental del volcán, de composición basáltico-andesítica. Las columnas eruptivas fueron de considerable altura, y hubo coladas de lava. La actividad duró todo el año.	1790 (9 de marzo) - 1791	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Erupción en el cráter central, con generación de columnas de gases y ceniza.	26-11-1834	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Erupción en el cráter central y en nuevos centros parásitos, abiertos en la vertiente suroeste, con abundantes flujos de lava basáltico-andesítica. Se formó una serie de conos de piroclastos. El 11 de noviembre se produjo una fuerte explosión con eyección de piroclastos a gran altura. El 5 de diciembre fueron emitidas enormes cantidades de lava, generando lahares cuyos depósitos pueden ser vistos en la localidad de Las Cascadas y Ensenada. Muchos árboles fueron quemados y cubiertos por la lava.	20-01-1835	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995

²⁵ Disponible en línea en: http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=889&Itemid=

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Centro volcánico	Producto Volcánico	Fecha erupción	Referencia
	Explosión freatomagmática en el cráter central. Cayó una densa nube de cenizas sobre el lago, cuyas aguas ascendieron, obligado a los pobladores a abandonar sus casas.	1837 - 1838	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Probable erupción de la que no se tiene registro	1850?	Petit-Breuilh, 1999
	Explosiones freatomagmáticas y columna de gases en el cráter central, con una probable actividad fumarólica intensa.	1852	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Explosiones freatomagmáticas en el cráter central.	1855	González-Ferrán, 1995
	Explosiones freatomagmáticas en el cráter central. Las explosiones fueron débiles, con probable actividad fumarólica intensa.	1869	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Actividad fumarólica	1882 - 1883	Petit-Breuilh, 1999
	Fumarolas en el cráter principal	1911 - 1915	Petit-Breuilh, 1999
	Fumarolas en el cráter	1963	Petit-Breuilh, 1999
	Fumarolas débiles en el cráter principal	1969	Petit-Breuilh, 1999
	Fumarolas débiles en el borde del cráter principal	1985	Petit-Breuilh, 1999
	Fumarolas débiles en el cráter principal	1993	Petit-Breuilh, 1999
Calbuco	Erupción explosiva.	1792	Petit-Breuilh, 1999
	Posible actividad fumarólica durante la erupción del volcán Osorno.	1834	Petit-Breuilh, 1999
	Posible actividad eruptiva	1837 – 1838?	Petit-Breuilh, 1999
	Posible erupción, de la que no se tiene mayores antecedentes	1845?	Petit-Breuilh, 1999
	Actividad explosiva con abundante emisión de piroclastos. Lahares que descendieron por el río Hueñuhueñu y Este. Corresponde al inicio de un importante ciclo eruptivo que duró todo el año.	10-01-1893	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Pequeñas explosiones acompañadas con eyección de piroclastos, se observaron 3 columnas (3 centros de emisión).	Marzo -1893	Petit-Breuilh, 1999
	Abundante emisión de tefra y gases. La columna del chorro y el hongo alcanzó 8000 m y se desplazó hacia el sureste, cayendo cenizas a Ralún. Formación de lahares que descendieron por los ríos Blanco Norte y Hueñuhueñu.	19-04-1893	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Eyección de tefra. Lluvia de Lapilli en Ralún.	05-08-1893	González-Ferrán, 1995
	Eyección de tefra. Lluvia de cenizas al oeste de Osorno y en Puerto Montt. El 5 ocurrió una fuerte explosión, con una columna de 10.000 m de altura que se dirigió hacia el norte. A fines de Setiembre se registró lluvia de cenizas en Valdivia.	09-09-1893	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Ciclo eruptivo alcanza su etapa paroxismal. Eyección de tefra. Lluvia de cenizas, lapilli y bombas incandescentes de hasta 30 cm de diámetro a 8 km del centro de emisión y de 3 cm de diámetro a 12 km. La lluvia de piroclastos incandescentes provocó incendios de bosques en varios sectores de los alrededores del volcán (por ejemplo en el área de Hueñuhueñu).	05-10-1893	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Centro volcánico	Producto Volcánico	Fecha erupción	Referencia
	Explosión cuya columna eruptiva alcanzó entre los 8.500 y 9.500 m de altura. La pluma se dirigió hacia el norte.	22-10-1898	Petit-Breuilh, 1999
	Emisión de gran cantidad de piroclastos. La lluvia de cenizas oscureció toda la zona hasta más allá de Maullín, a 60 km al oeste del volcán.	29-10-1893	González-Ferrán, 1995
	Erupción explosiva, con emisión de Tefra, formación de lahares calientes que descendieron hacia el norte y este por los ríos Tepú, Blanco y Hueñuhueñu.	16-11-1894	González-Ferrán, 1995
	Explosiones freatomagmáticas con emisión de cenizas	1906	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Probables explosiones freatomagmáticas.	22-04-1907	González-Ferrán, 1995
	Explosiones freatomagmáticas.	04-1909	González-Ferrán, 1995
	Explosiones freatomagmáticas con emisión de gas y cenizas.	1911 a 1912	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
Calbuco	Erupciones fuertemente explosivas que dieron origen a lahares calientes, que descendieron hacia el noreste por el río Blanco (Ensenada). Se generó un nuevo domo y las lavas sobrepasaron los bordes del antiguo cráter y descendieron hacia el este y hacia el sur del edificio volcánico.	04-02-1917	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Erupción explosiva con generación de flujos de piroclastos. Violenta emisión de tefra, originando lahares que descendieron por el valle del río Blanco, hasta el lago Llanquihue. Un posible flujo de cenizas incandescentes habría descendido quemando árboles y matando animales en los falderos del mismo valle. Durante la etapa eruptiva se formó un cráter de 500 m de diámetro en el domo ubicado en el interior del cráter antiguo, a través del cual, se produjo la emisión de una colada andesítica que fluyó hacia el noreste.	06-01-1929	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Intensa actividad eruptiva explosiva de corta duración (6-7 días).	12-1932	Petit-Breuilh, 1999
	Actividad eruptiva explosiva.	19-02-1945	Petit-Breuilh, 1999
	Se inicia un nuevo ciclo eruptivo con una erupción subpliniana. Se originaron lahares calientes que siguieron 3 cursos principales; 1) Hacia el norte, por el valle del río Tepu, llegó hasta el camino, junto al lago Llanquihue, 2) Hacia el noreste, por el río Blanco hasta el río Petrohué, 3) Hacia el sur, por el río Amarillo – río Este hasta el lago Chapo.	01-02-1961	González-Ferrán, 1995
	Emisión de flujo de lava, a través del cráter del cono-domo. Este flujo descendió hacia el noreste por el río Tepu, a una velocidad de 4 m/h, alcanzando el 20 de Febrero la cota 560 m.	05-02-1961	González-Ferrán, 1995
	Emisión de un fluido de lava hacia el sur por el río Amarillo, desde un pequeño cráter ubicado en el pie sureste del cono-domo, bajo el casquete de hielo que allí había.	10-02-1961	González-Ferrán, 1995

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA
MEMORIA EXPLICATIVA

Centro volcánico	Producto Volcánico	Fecha erupción	Referencia
	Actividad fuertemente explosiva da origen a un hongo de vapor y piroclastos que alcanzó una altura estimada en 12000 m. Durante esta erupción los lapillis alcanzaron hasta Petrohué y las cenizas oscurecieron toda el área entre el volcán Calbuco y Petrulla desde las 8.30 A.M hasta la noche. En Bariloche se suspendió el tránsito vehicular debido a la escasa visibilidad.	10-03-1961	González-Ferrán, 1995
	Emisión de lava que sobrepasó el cráter y descendió hacia el río Tepú.	26-03-1961	González-Ferrán, 1995
	Violentas fumarolas hasta febrero de 1962.	06-09-1961 a 02-1962	González-Ferrán, 1995
Calbuco	Erupción estromboliana. Eyección de tefra desde el pequeño cráter central del volcán, entre las 0.00 y las 3.00 horas. Durante varios días antes, se sintieron temblores de baja intensidad y ruidos subterráneos que intranquilizaron al ganado.	26-08-1972	Petit-Breuilh, 1999 González-Ferrán, 1995
	Se inicia un nuevo ciclo eruptivo: erupción subpliniana con 2 pulsos de alta energía (columnas eruptivas de 15 y 17 km s. n. m.) y 1 pulso de baja energía (columna de 5 km s. n. m.) en las fechas indicadas. Se reportaron flujos piroclásticos y lahares canalizados en los valles principales, los que alcanzaron 7,5 y 15 km de largo respectivamente a los primeros dos pulsos. Se reportaron daños en viviendas, infraestructura vial, agricultura, entre otros.	22-04-2015 al 26-05-2015	Bertín (2015).

Fuente: Elaboración propia a partir de las referencias citadas en el cuadro.

II. ÁREAS DE RIESGO GENERADAS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

1. CARACTERIZACIÓN GENERAL.

La posibilidad de definir áreas de riesgo generadas por la actividad o intervención humana está establecida en al numeral 4 del inciso séptimo del artículo 2.1.17 de la OGUC.

Se entiende que se trata de terrenos en los cuales alguna actividad humana dejó tras sí ciertas características que son peligrosas para el ser humano. Entre estas características peligrosas se cuentan los terrenos con suelos contaminados, tales como relaves mineros, depósitos de desechos industriales nocivos para la salud, basurales, y otros similares. También se incluyen los terrenos con piques, socavones o túneles producto de las actividades mineras.

Cabe señalar que las actividades de tipo industrial que estén en operaciones, por muy peligrosas que estas fueren, no son susceptibles de ser consideradas dentro de esta categoría.

En el área en planificación **no existen terrenos que tengan las características para establecer alguna área de riesgo por esa causa.**

2. SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES.

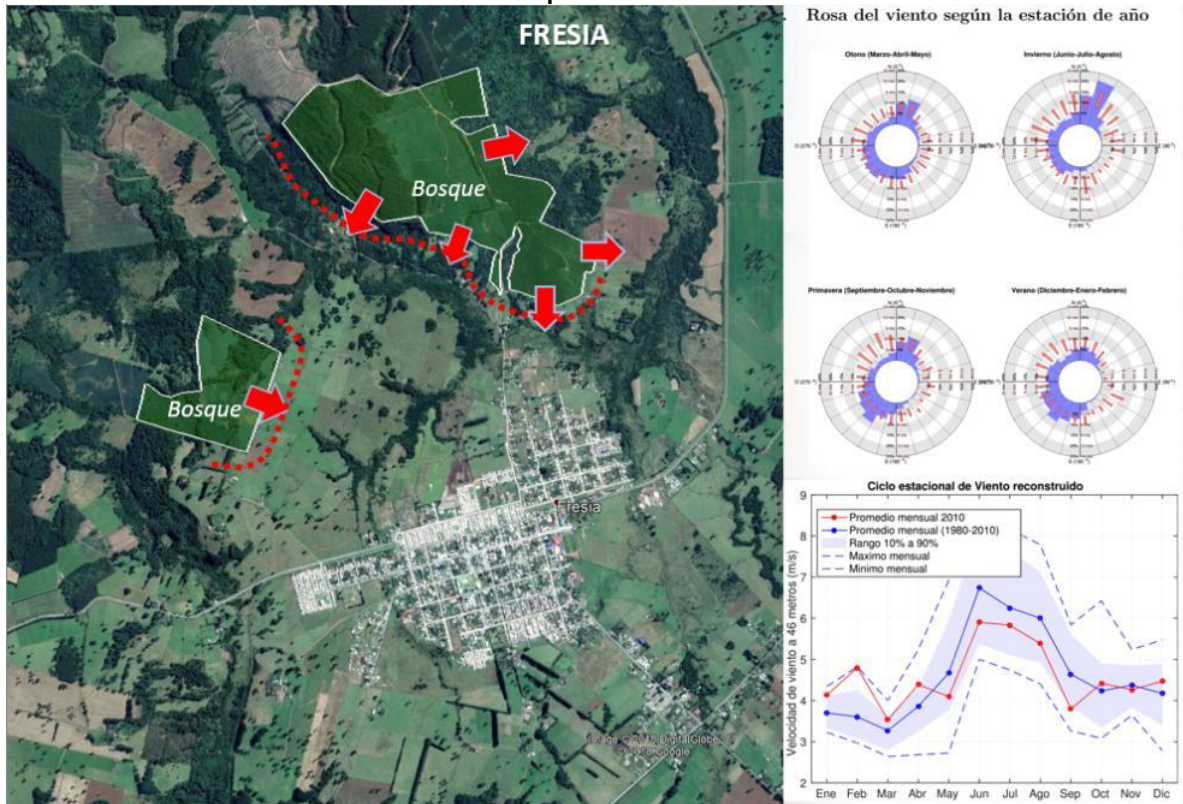
Si bien los incendios forestales han demostrado en los últimos años presentar un grave peligro para las personas y la infraestructura, en el contexto de la formulación de un Plan Regulador Comunal es necesario enfocar el análisis en las atribuciones normativas que tiene este tipo de Plan y en sus efectos.

2.1 Situación Actual

La situación actual muestra que en los bordes de Fresia y de Tegualda existen bosques de plantaciones con árboles de especies industriales, las cuales según la experiencia reciente y en caso de darse las condiciones climáticas más desfavorables, son susceptibles de incendiarse. En la Ilustración 1 se muestra la ubicación de los bosques cercanos a Fresia en tanto en la Ilustración 2 los cercanos a Tegualda.

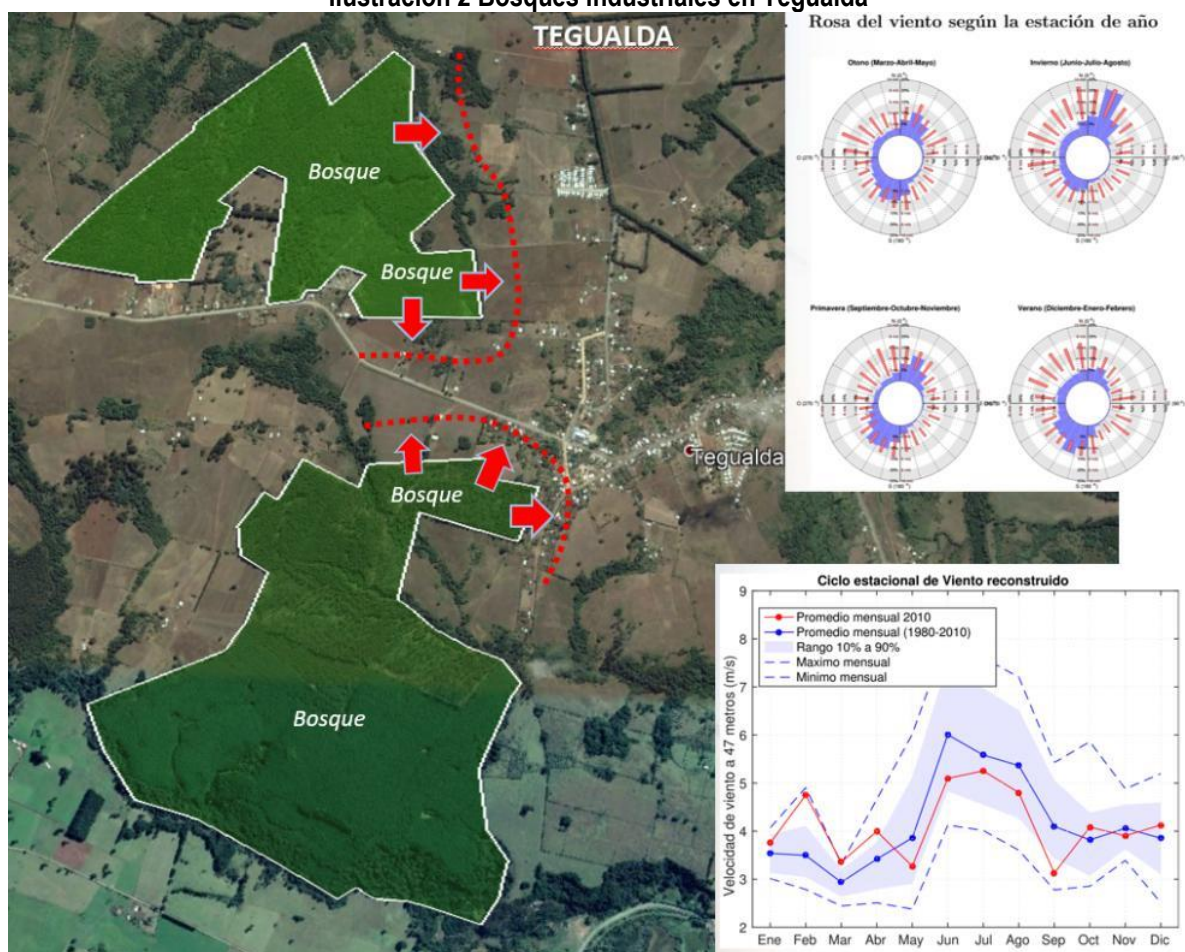
PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA MEMORIA EXPLICATIVA

Ilustración 1 Bosques industriales en Fresia



Fuente; elaboración propia. Datos meteorológicos de www.cne.cl

Ilustración 2 Bosques industriales en Tegalda



Fuente; elaboración propia. Datos meteorológicos de www.cne.cl

En caso de incendio, las llamas y las cenizas afectarán al entorno inmediato de esos bosques. No existen métodos para estimar la real magnitud de un incendio forestal, el cual depende de muchos factores no controlables, tales como la temperatura ambiente, la humedad y sobre todo del viento. No es posible determinar fundadamente el alcance de un incendio forestal. En las Ilustraciones mencionadas se muestran los datos del comportamiento del viento, según las mediciones realizadas por la Comisión Nacional de Energía y una estimación del área posiblemente afectada.

En ellas se puede apreciar que en los meses más secos (entre octubre y abril), cuando la temperatura es mayor, los vientos tienen velocidades menores. Si bien estos datos muestran que uno de los factores que avivan el fuego y su propagación, el viento, en su promedio anual no es favorable a la ocurrencia de incendios en esa época, el comportamiento puntual puede salirse de la media e igualmente constituir un peligro.

En relación a la dirección del viento, factor que determina en parte cuáles serían las zonas más afectadas, la estadística anual muestra una gran variación de direcciones, aunque se aprecia cierta predominancia de las direcciones suroeste y nororiente. En el caso de Fresia, aunque la distancia es considerable, el sector de Santa María es el que podría verse afectado. En el caso de Fresia, en el cual los bosques están mucho más cercanos, la zona poblada estaría claramente en zona de peligro.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE FRESIA

MEMORIA EXPLICATIVA

2.2 Sobre la posibilidad de aplicar normas de plan regulador comunal

La Ley General de Urbanismo y Construcciones y su Ordenanza no tienen ninguna atribución para regular el tipo de cubierta que puedan tener los terrenos, sea en área rural o área urbana. Así, el propietario tiene pleno derecho de cubrir sus tierras como mejor le parezca, sea con vegetación o bien cubrirla con piedras o con pavimentos. Solamente el Ministerio de Agricultura (CONAF en lo principal) tiene su propia legislación para regular la explotación de bosques, pero ella no dice nada respecto a la cercanía a centros poblados.

En este orden de cosas, aún si con algún método fundado se pudiese estimar el alcance de los incendios forestales, la OGUC sólo tendría la herramienta de establecer un área de riesgo según el literal 4 del inciso séptimo del artículo 2.1.17, el cual obligaría a las viviendas bajo esas áreas a demostrar con un estudio fundado, cómo mitigaría un incendio forestal.

Como se puede apreciar, la aplicación de esta medida en el PRC trasladaría al afectado la responsabilidad (y los sobre costos) de defenderse a sí mismo de un mal causado por otros.

Se estima que aplicar una medida de esta naturaleza con el Plan Regulador Comunal no tiene ninguna lógica de equidad. La responsabilidad del incendio forestal, de evitar que afecte a las personas o la infraestructura debe estar en el lado del dueño del material combustible y no en el lado de los afectados.

En otro orden de cosas es preciso notar que la aplicación de una norma con el PRC es prácticamente una medida permanente, en tanto la vegetación causante del problema no lo es. En efecto, los árboles tienen un ciclo de crecimiento y madurez y luego se cortan, desapareciendo el peligro. Tampoco existe obligación de que se vuelva a plantar. Entonces, se pueden tener largos períodos de tiempo en los cuales la medida restrictiva del Plan está vigente pero la causa, no existe.

Por esas razones, se propone no utilizar los incendios forestales como origen para aplicar una medida de riesgo de acuerdo al 2.1.17 de la OGUC, como parte de las disposiciones del Plan Regulador Comunal.

III. ZONAS NO EDIFICABLES

El artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones referido a Áreas Restringidas la Desarrollo Urbano, en su inciso tercero define las zonas no edificables de la siguiente manera:

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.”

Luego, en su inciso sexto señala:

Las “zonas no edificables” corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

En este marco, este estudio identifica las obras de infraestructura peligrosa situadas al interior del área en planificación, identifica las obras de infraestructura peligrosa ubicadas fuera del área en planificación pero que su franja o radio de protección afecte el área en planificación, identifica los cuerpos legales que dan origen a la protección y señala gráficamente en los planos las franjas o radios de protección aplicables.

En el área en planificación **no existe ninguna infraestructura que tenga alguna franja o área de resguardo reconocida por la legislación vigente.**

IV. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL

En este Título se tratan las áreas de protección de recursos de valor natural y las áreas de recursos de valor patrimonial cultural, siempre dentro del marco normativo establecido por el artículo 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones:

“Se entenderán por “áreas de protección de recursos de valor natural” todas aquellas en que existan zonas o elementos naturales protegidos por el ordenamiento jurídico vigente, tales como: bordes costeros marítimos, lacustres o fluviales, parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales.”

En el área en planificación no existen áreas protegidas por el ordenamiento jurídico vigente.

V. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR PATRIMONIAL CULTURAL

1. APLICACIÓN DE ÁREAS DE PROTECCIÓN DE ACUERDO AL ARTÍCULO 2.1.18 DE LA OGUC.

“Se entenderán por “áreas de protección de recursos de valor patrimonial cultural” aquellas zonas o inmuebles de conservación histórica que defina el plan regulador comunal e inmuebles declarados monumentos nacionales en sus distintas categorías, los cuales deberán ser reconocidos por el instrumento de planificación territorial que corresponda.”

1.1 Monumentos nacionales

En el área en planificación no existen Monumentos Nacionales declarados

1.2 Inmuebles de Conservación Histórica

El Plan propone definir como Inmuebles de Conservación Histórica un conjunto de edificaciones que representan valores culturales que se estima necesario proteger o preservar y que tienen características especiales que reflejan las tradiciones culturales de Fresia y Corte Alto a lo largo de su historia.

El listado de estos inmuebles y sus correspondientes fichas se encuentran anexos a la Memoria Explicativa.