



---

MUNICIPALIDAD DE PADRE HURTADO

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
REGIÓN METROPOLITANA**

**ESTUDIOS TÉCNICOS  
ESTUDIO DE RIESGOS**

**MARZO 2026**

---

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

Profesional responsable Estudio de Riesgos Naturales  
Rodrigo Rauld Plott, Géologo

Profesional responsable Estudio de Riesgos por actividad humana.  
Pablo Badilla Ohlbaum, Arquitecto

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MARCO JURÍDICO.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	2
1.4	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
1.5	METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.....	4
1.5.1	Recopilación y revisión de antecedentes.....	5
1.5.2	Elaboración de líneas de base.....	5
1.5.3	Catastro de amenazas.....	6
1.5.4	Diagnóstico de amenazas.....	6
1.5.5	Elaboración de mapas de amenaza.....	6
2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.....	7
2.1	INSUMOS BIBLIOGRÁFICOS.....	7
2.1.1	Insumos para la elaboración de catastros.....	7
2.1.2	Insumos para la elaboración de líneas de base.....	7
2.1.3	Insumos para la elaboración de diagnósticos.....	8
2.1.4	Insumos generales.....	9
2.1.5	Insumos cartográficos.....	9
2.2	ENTREVISTAS Y REUNIONES.....	9
2.2.1	Unidad de Emergencias y Gestión de Riesgo de Desastres Municipalidad de Padre Hurtado – Alejandro Vega.....	9
2.2.2	Habitante de Padre Hurtado – Luis Véliz.....	9
2.3	AJUSTE DE AMENAZAS IDENTIFICADAS.....	10
2.3.1	Sismicidad.....	10
2.3.2	Volcanismo.....	10
2.3.3	Inundaciones terrestres.....	10
2.3.4	Remociones en masa.....	10
3	LÍNEAS DE BASE.....	11
3.1	Contexto geodinámico.....	11
3.2	Geología.....	12
3.2.1	Unidades litológicas.....	14
3.2.2	Estructuras.....	16
3.3	Geomorfología.....	18
3.3.1	Unidades morfoestructurales.....	18
3.3.2	Unidades geomorfológicas locales.....	18
3.4	Clima.....	23
3.5	Hidrografía.....	24
3.6	Hidrogeología.....	24
4	INVENTARIO O CATASTRO DE AMENAZAS.....	27
4.1	Sismicidad.....	27
4.2	Inundaciones terrestres.....	28
4.3	Remociones en masa.....	34
5	DIAGNÓSTICO.....	37
5.1	SISMICIDAD.....	37
5.1.1	Tipos de sismos.....	37
5.2	INUNDACIONES TERRESTRES.....	40
5.2.1	Inundación por desborde de cauce.....	40
5.2.2	Inundación por anegamiento.....	41
5.2.3	Inundación por napa freática.....	44
5.3	REMOCIONES EN MASA.....	45
5.3.1	Flujos de barro y/o detritos.....	45

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

---

5.3.2	Procesos de ladera.....	46
6	ZONIFICACIÓN.....	49
6.1	DEFINICIÓN DE METODOLOGÍAS.....	49
6.1.1	Inundaciones terrestres.....	49
6.1.2	Remociones en masa.....	49
6.2	ASIGNACIÓN DE NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD Y MAPAS DE AMENAZAS.....	50
6.2.1	Inundaciones terrestres.....	50
6.2.2	Remociones en masa.....	54
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
7.1	ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	57
7.2	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A NIVEL COMUNAL.....	58
7.2.1	Inundaciones terrestres.....	60
7.2.2	Remociones en masa.....	61
7.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A NIVEL DE PLANIFICACIÓN.....	62
7.3.1	Inundaciones terrestres.....	62
7.3.2	Remociones en masa.....	62
8	ÁREAS DE RIESGO GENERADAS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA.....	65
8.1	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS O TERRENOS CON PRESENCIA DE RIESGOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA.....	65
8.1.1	Identificación de peligros vinculados con incendios forestales.....	65
8.2	ÁREAS DE RESTRICCIÓN ASOCIADAS A REDES DE INFRAESTRUCTURA.....	72
8.2.1	Reconocimiento de zonas no edificables según la OGUC.....	72
8.2.2	Aplicación de las redes de infraestructura a nivel comunal.....	73
8.2.3	Aplicación de las redes de infraestructura a nivel urbano.....	82
9	BIBLIOGRAFÍA.....	85
10	APÉNDICES.....	89
10.1	Definiciones de peligro y riesgo usadas en este estudio.....	89
10.2	Descripción de los peligros geológicos analizados.....	91
10.2.1	Procesos internos o endógenos de la Tierra.....	91
10.2.2	Procesos externos o exógenos de la Tierra.....	100
10.3	Acta reuniones.....	106
10.3.1	Reunión Director de Seguridad y Emergencias.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1:	Ubicación del área de estudio.....	4
FIGURA 1-2:	Metodología general del estudio.....	5
FIGURA 3-1:	Marco Geodinámico General. En fucsia se destaca la región Metropolitana, donde se encuentra la comuna de Padre Hurtado. La línea negra con triángulos muestra la fosa Perú-Chile. Los triángulos naranjas corresponden a volcanes pleistocenos, y los triángulos amarillos a volcanes holocenos.....	11
FIGURA 3-2:	Mapa geológico.....	13
FIGURA 3-9:	Pozos de interés y con información utilizada para este estudio.....	25
FIGURA 3-10:	Serie de tiempo para niveles en pozos estadísticos de la DGA y de precipitaciones de la estación Fundo Marruecos.....	26
FIGURA 4-1:	Mapa de catastro de Padre Hurtado.....	33
Fuente:	Elaboración propia en base a Kausse & Ramírez (1992).....	37
FIGURA 5-1:	Representación gráfica de los terremotos de subducción históricos con magnitud estimada superior a 7.2 y sus respectivos largos de ruptura (abajo, escala en años). En color rojo se resalta la región Metropolitana y en la franja, los principales terremotos ocurridos frente a ella.....	38
Fuente:	Elaboración propia (2023).....	38
FIGURA 5-2:	Mapa regional del contexto del área de estudio con los epicentros de la sismicidad registrada de magnitud superior a 4.0, según el Catálogo NEIC, entre 1970 y 2022.....	39
FIGURA 5-3:	Perfil de franja topográfica sobre localización de hipocentros sísmicos a lo largo de una franja de 50 km de ancho por 350 km de largo demarcada con rectángulo punteado en la FIGURA 5-2. (Notar diferencia en escala vertical de ambos gráficos).....	40

---

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

---

FIGURA 5-4: Sector de puente La Esperanza donde se observan ambos puentes cruzando el río Mapocho. ....	41
FIGURA 5-5: Registro fotográfico de áreas anegadas en el sector de Santa Mónica – San Luis visto desde la cima de la Cuesta Barriga (comparativa década 1980 y año 2023). ....	43
FIGURA 5-6: Anegamiento en el sector de Santa Mónica (invierno año 2020). ....	44
FIGURA 5-7: Canal de regadío a mayor altura que sector de casas al sureste, calle Los Jesuitas, sector de San Ignacio. ....	44
FIGURA 5-8: Panorámica de laderas, quebradas y abanicos aluviales en el sector de Los Corrales. ....	46
FIGURA 5-9: Zona de afloramientos y caídas de rocas en laderas del cerro Buitrera, al suroeste de la comuna. ....	47
FIGURA 6-1: Mapa de susceptibilidad de inundación por desborde de cauce. ....	51
FIGURA 6-2: Mapa de susceptibilidad de inundación por anegamiento. ....	52
FIGURA 6-3: Mapa de susceptibilidad de inundación por napa freática. ....	53
FIGURA 6-4: Mapa de susceptibilidad de procesos de ladera. ....	55
FIGURA 6-5: Mapa de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos. ....	56
FIGURA 7-1: Esquema del año provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad. ....	58
FIGURA 7-2: Mapa de síntesis de amenazas respecto del área de planificación de la actualización del PRC de Padre Hurtado. ....	63
FIGURA 8-1: Velocidad del viento según estación del año, Padre Hurtado. ....	69
FIGURA 8-2: Rosa de los vientos, Padre Hurtado. ....	69
FIGURA 8-3: Amenaza de Incendios Forestales, Padre Hurtado. ....	70
FIGURA 8-4: Estadísticas históricas de incendios forestales en la comuna de Padre Hurtado (2014-2024). ....	71
FIGURA 8-5: Noticia de Incendio Forestal, Sector Mallarauco, Padre Hurtado. ....	71
FIGURA 8-6: Líneas de alta tensión, Comuna Padre Hurtado. ....	73
FIGURA 8-7: Línea del Ferrocarril, Comuna Padre Hurtado. ....	75
FIGURA 8-8: Esquema de aplicación de fajas de resguardo Ley General de Ferrocarriles. ....	76
FIGURA 8-9: Gaseoducto de gas natural, Comuna Padre Hurtado. ....	78
FIGURA 8-10: Oleoducto, Comuna Padre Hurtado. ....	79
FIGURA 8-11: Área de resguardo del Aeropuerto, Comuna Padre Hurtado. ....	80
FIGURA 8-12: Canales de regadío, Comuna Padre Hurtado. ....	81
FIGURA 8-13: Aplicación de las redes de infraestructura a nivel urbano. ....	83
FIGURA 9-1: Etapas de evolución de un evento geológico peligroso. ....	91
FIGURA 9-2: Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud mayor que 5. Nótese cómo la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo. ....	92
FIGURA 9-3: Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile. ....	92
FIGURA 9-4: Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto). ....	93
FIGURA 9-5: Tipos de falla y esfuerzos asociados. ....	94
FIGURA 9-6: Tipos de ondas sísmicas. ....	95
FIGURA 9-7: Amplificación de la vibración generada por un terremoto. ....	96
FIGURA 9-8: Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán. ....	97
FIGURA 9-9: Clasificación de los tipos de inundación. ....	100
FIGURA 9-10: Clasificación de tipos de remociones en masa en relación con el movimiento que lo origina y el tipo de material constituyente de la ladera. ....	102
FIGURA 9-11: Ejemplos de deslizamientos. A) Deslizamiento rotacional. B) Deslizamiento traslacional. ....	105

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1-1: Homologación de “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17. de la OGUC y amenazas evaluadas en este informe. ....	1
CUADRO 2-1: Resumen puntos críticos programa invierno de SENAPRED. ....	7
CUADRO 3-1: Pozos estadísticos DGA revisados y con datos disponibles junto a su código BNA, coordenadas y rango temporal de la serie de tiempo. ....	25
CUADRO 4-1: Catastro de inundaciones de la comuna de Padre Hurtado. ....	29
CUADRO 4-2: Catastro de remociones en masa de la comuna de Padre Hurtado. ....	35
CUADRO 5-1: Terremotos históricos (magnitud superior a 7.0) cuya zona de ruptura coincide con el área. ....	37
CUADRO 7-1: Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y criterios de zonificación de la susceptibilidad. ....	57
CUADRO 7-2: Recomendación de áreas de riesgo según el Art. 2.1.17 de la OGUC para cada una de las categorías de las amenazas reconocidas. ....	59
CUADRO 7-3: Vulnerabilidad en función de los grados de permeabilidad y la profundidad de la napa, definida en el PRMS. ....	61
CUADRO 8-1: Condiciones de severidad asociadas según la humedad del combustible. ....	66
CUADRO 8-2: Distancia de seguridad líneas de alta tensión. ....	74

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

---

CUADRO 8-3: Distancia mínima a cada costado del eje de la línea según tensión. ....	74
CUADRO 9-1: Peligros asociados al volcanismo. ....	99

# 1 INTRODUCCIÓN

Este informe corresponde al estudio de amenazas naturales del área urbana y rural de la comuna de Padre Hurtado que forma parte del Estudio de Riesgos y que, a su vez, es una de las componentes requeridas para la formulación o actualización del Plan Regulador Comunal (PRC). Según el artículo 2.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, el Estudio de Riesgos se incluye dentro de los estudios técnicos que dan fundamento a las proposiciones incluidas en el PRC.

Los resultados de este trabajo corresponden a la evaluación y zonificación de las amenazas naturales que puedan afectar tanto el área urbana como las áreas de extensión urbana en la comuna de Padre Hurtado. La zonificación de las amenazas naturales identificadas se basa fundamentalmente en el análisis de susceptibilidad para cada una de ellas, y sirve como fundamento para definir las áreas de riesgo necesarias para la formulación del respectivo instrumento de planificación territorial (IPT).

## 1.1 MARCO JURÍDICO.

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

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

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

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

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

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

**CUADRO 1-1: Homologación de "áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17. de la OGUC y amenazas evaluadas en este informe.**

"Áreas de riesgo" según artículo 2.1.17 de la OGUC	Amenazas naturales evaluadas en este informe		Descripción conceptual
1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos	Inundaciones terrestres	Por desborde de cauce	Apéndice 10.2.2.1
		Anegamiento	
		Napa freática	
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujos de barro y/o detritos.	Apéndice 10.2.2.2
		Procesos de ladera	
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad		Apéndice 10.2.1
	Volcanismo		

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

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

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

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

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

El segundo numeral del artículo 2.1.17. de la OGUC corresponde a las amenazas naturales de remociones en masa. Estas se analizan separadamente como: (1) flujos (de detritos, barro, entre otros), y (2) procesos de ladera (entendidos como aquellos desplazamientos de masas de tierra o rocas que se encuentran en pendiente que ocurren debido a la inestabilidad de los materiales que forman la ladera, incluyendo caída de bloques, deslizamientos, retrocesos de laderas, entre otros).

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

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

## **1.2 OBJETIVOS.**

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

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

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

## **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

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

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

Las principales limitaciones que tiene la metodología aplicada son:

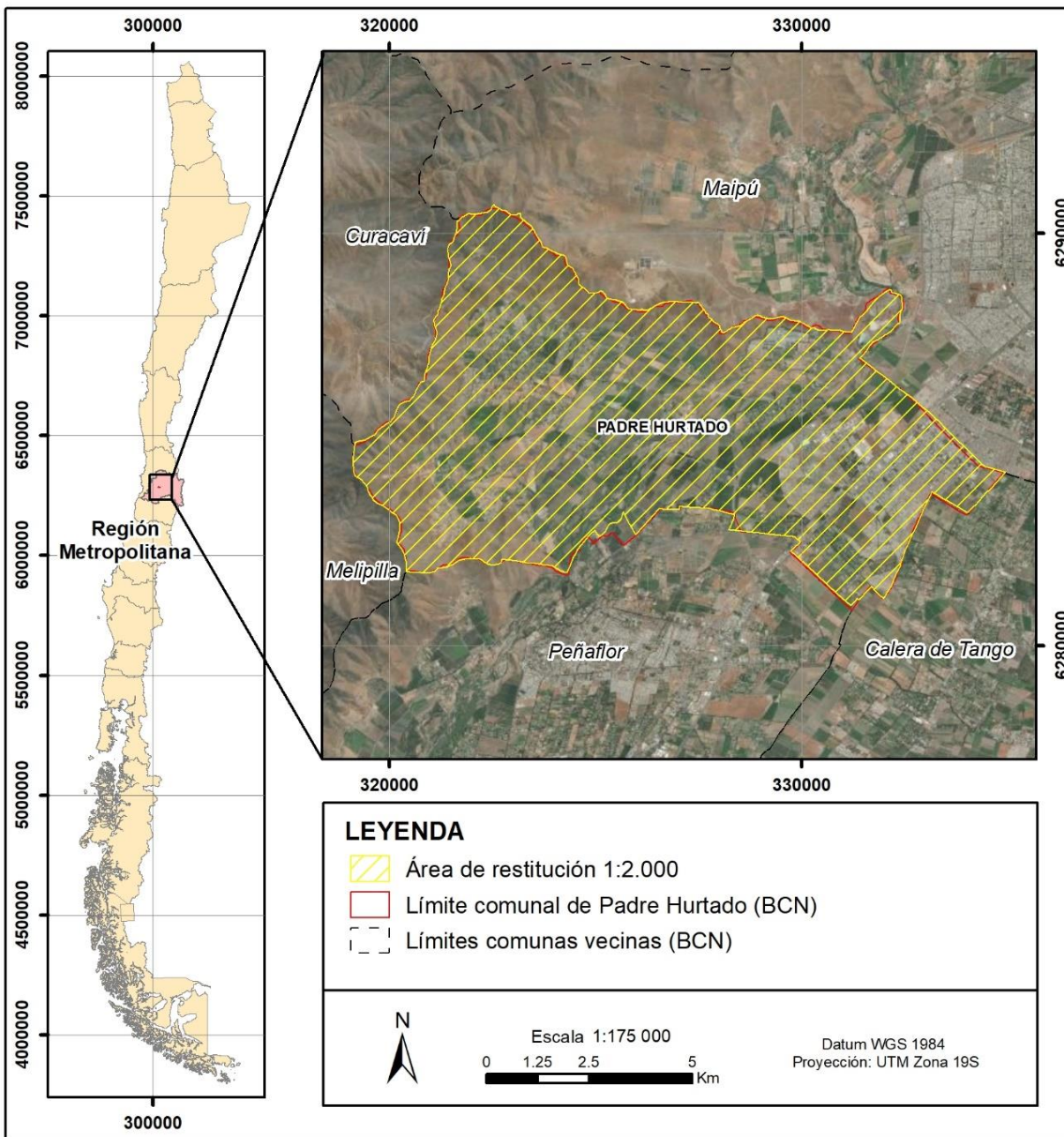
1. *Existen zonas que pudiendo haber sido afectada por amenazas en el pasado, posiblemente al no estar habitada, no exista un registro sistemático de estos eventos, pese a esto, se intentó construir un catastro lo más completo que la información permitía.*
2. *Se debe considerar que los resultados son una aproximación de la realidad, que incorporan supuestos y simplificaciones, y que, en caso de ocurrir la amenaza estudiada, pueden ocurrir cosas diferentes a lo predicho.*
3. *El levantamiento topográfico utilizado en este estudio considera una única escala de 1:2.000. Sin embargo, el modelo digital de terreno al ser derivado mediante fotogrametría posee una serie de artefactos ligados al proceso de eliminación de vegetación, construcciones, etc. De modo, que existen diversas zonas, ya sea en laderas de altas pendientes o en áreas llanas y cercanas a los ríos, donde la elevación no necesariamente representa la forma original del terreno, ya sea por una eliminación pobre de los objetos superficiales o por el proceso de interpolación requerido para eliminar objetos.*
4. *Este estudio se elaboró a escala 1:2.000, lo que implica que no es posible analizar amenazas resultantes de los procesos estudiados para sectores aproximados de 2 m o menores.*

#### **1.4 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

El área de estudio corresponde al área de levantamiento cartográfico definidos para el estudio de Actualización Plan Regulador Comunal de Padre Hurtado, que corresponden básicamente a la totalidad del área comunal. Debido a que el límite comunal se extiende sobre divisorias de agua naturales de la Cordillera de Costa al oeste, y en terrenos llanos de la cuenca de Santiago por el este, se considera que el área de levantamiento es al mismo tiempo el área de influencia relacionada a las amenazas de origen natural que pueden alcanzar la comuna (FIGURA 1-1).

Padre Hurtado es una comuna ubicada en el sector sur poniente de la ciudad de Santiago de Chile y posee una superficie es de 80.8 km<sup>2</sup>. Pertenece a la Provincia de Talagante de la Región Metropolitana de Santiago. La comuna limita al norte con Maipú, al este con Calera de Tango, al sur con Peñaflores y al oeste con Melipilla y Curacaví (IMPH, 2022).

FIGURA 1-1: Ubicación del área de estudio.

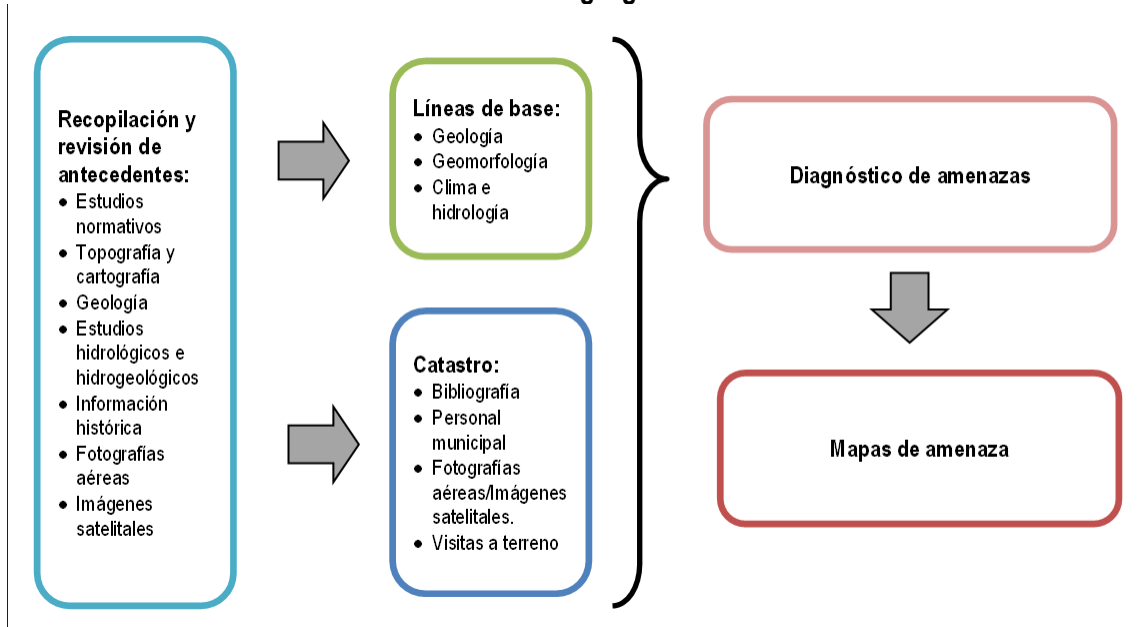


Fuente: Elaboración propia (2023).

## 1.5 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.

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

FIGURA 1-2: Metodología general del estudio.



Fuente: Elaboración propia (2023).

### 1.5.1 Recopilación y revisión de antecedentes.

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

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

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

### 1.5.2 Elaboración de líneas de base.

Se elaboraron líneas de base para caracterizar factores que se relacionan con la ocurrencia de las amenazas que pueden afectar a la comuna (los cuales son comúnmente denominados Factores Condicionantes) y para identificar, en parte, aquellos sectores que son más propensos a su ocurrencia. De esta forma, la línea de base para el Estudio de Riesgos considera las siguientes componentes:

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

### **1.5.3 Catastro de amenazas.**

Se elaboraron registros con los eventos que han afectado al área de estudio, el cual, en la medida de lo posible, contiene: tipo de amenaza, fecha de ocurrencia, tipo, desencadenante, daños, fuente de información utilizada. La información contenida en los registros sirve para elaborar un diagnóstico de cada una de las amenazas de origen natural reconocidas y estudiadas. Las fuentes de información utilizadas fueron:

- Fuentes bibliográficas.
- Reuniones con personal municipal.
- Reuniones con instituciones del Estado.
- Visita en terreno.

### **1.5.4 Diagnóstico de amenazas.**

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

### **1.5.5 Elaboración de mapas de amenaza.**

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

En términos generales, se asignó un nivel de susceptibilidad "Muy alta" a aquellas zonas que muy posiblemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento de la amenaza analizado, una susceptibilidad "Alta" a aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y susceptibilidad "Moderada" a las áreas afectadas por eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero sí otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas.

## 2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

A continuación, se presenta un listado de los antecedentes analizados con una breve síntesis de sus contenidos.

### 2.1 INSUMOS BIBLIOGRÁFICOS.

#### 2.1.1 Insumos para la elaboración de catastros.

##### 2.1.1.1 *Catástrofes de Chile 1541-1992 (Urrutia & Lanza, 1993).*

Realiza un compendio de las principales catástrofes ocurridas en Chile. Este documento presenta la base para la elaboración de un catastro de los peligros que han afectado o pueden haber afectado al territorio regional en tiempos más antiguos.

##### 2.1.1.2 *Puntos críticos invierno 2023 (SENAPRED, 2023).*

El catastro cuenta con 16 puntos en la comuna de Padre Hurtado. En ellos se define su causa y se le asigna un nivel de riesgo. En la siguiente tabla se presenta un resumen de ellos.

**CUADRO 2-1: Resumen puntos críticos programa invierno de SENAPRED.**

Causa punto crítico	Nivel de riesgo			
	Bajo	Medio	Alto	Total
Anegamiento de caminos/paso a desnivel	4	5	5	14
Inundación por desborde de cauce	-	1	1	2

##### 2.1.1.3 *Prensa.*

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

#### 2.1.2 Insumos para la elaboración de líneas de base.

##### 2.1.2.1 *Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal. Regiones Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Escala 1:100.000. (Sellés & Gana, 2001).*

Carta geológica que incluye prácticamente la totalidad del territorio comunal de Padre Hurtado, abarcando completamente las áreas urbanas que se analizan en detalle en el marco de la actualización del Plan Regulador Comunal de Padre Hurtado. Este mapa muestra que las áreas de urbanas se ubican, principalmente, sobre depósitos fluviales y aluviales cuaternarios (Pleistoceno-Holoceno) que rellenan el fondo de los valles. Por su parte, algunos cerros dentro de estas áreas están constituidos por rocas del Cretácico (Formación Las Chilcas, Stocks mozodioríticos-granodioríticos) y Cretácico Superior-Paleoceno (Estratos del Cordón de los Ratones).

##### 2.1.2.2 *Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de los andes de Chile central entre los 33° y los 34°S (Fock, 2005).*

Tesis de magíster enfocada en revelar la evolución tectónica cenozoica de las rocas al este de la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal a la latitud de la Región Metropolitana de Santiago. En particular, el trabajo cobra relevancia para el presente estudio dada la definición de la Falla Portezuelo de Chada, estructura inversa vergente al oeste a nivel regional.

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

Base de datos que recopila el estado del conocimiento más actualizado a la fecha (2021) de las fallas potencialmente activas en Chile. En este inventario se incluye un segmento inferido de la Falla San Ramón, para la descripción regional de las estructuras.

**2.1.2.4 Formación de carbonatos palustres en la cuenca de Santiago y su implicancia paleoambiental (Vargas P., 2022).**

Memoria de título de geología enfocada en realizar una reconstrucción paleoambiental mediante el estudio de perfiles de carbonatos palustres en el sector occidental de la cuenca de Santiago. En particular, se usaron sus descripciones como referencia para la definición de la unidad de depósitos palustres reconocida en la comuna.

**2.1.3 Insumos para la elaboración de diagnósticos.**

**2.1.3.1 Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana (SEREMI, 2020).**

Estudio de riesgos, de escala regional, en función del componente climático para todo el territorio de la Región Metropolitana. En específico, para la comuna de Padre Hurtado se evidencia la presencia de las amenazas de inundación, remoción en masa, incendios, sequía y olas de calor.

**2.1.3.2 Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la Región Metropolitana de Santiago (GORE, 2013).**

Estudio de carácter orientador y metodología cualitativa que define a escala regional las áreas más o menos susceptibles a sufrir un proceso natural que derive en alguna amenaza. En particular se consideraron las áreas susceptibles a inundaciones y remociones en masa para algunos sectores de Padre Hurtado. Se determina que el principal problema identificado en la comuna se asocia a las potenciales inundaciones, que están condicionadas por la preexistencia de canales de regadío en una zona de constante expansión urbana.

**2.1.3.3 Peligro de remociones en masa e inundaciones de la cuenca de Santiago (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2003).**

Mapa de peligros para el área de la cuenca de Santiago a escala 1:100.000. Cubre la totalidad de la comuna de Padre Hurtado, demarcando las zonas de remociones en masa (flujos de detritos), inundaciones (crecidas fluviales, acumulación de aguas lluvias y ascenso de nivel freático somero).

**2.1.3.4 Respuesta sísmica de la Región Metropolitana de Santiago (von Igel, Naranjo, & Wall, 2004).**

Mapa de respuesta sísmica cualitativa basado en las características de las unidades geológicas a escala 1:250.000. En la comuna de Padre Hurtado se distinguen zonas de rocas con buena respuesta sísmica y depósitos no consolidados con respuesta sísmica regular, mala y muy mala.

**2.1.3.5 Peligro volcánico y fallas geológicas de la Región Metropolitana de Santiago (Lara, 2004).**

Mapa de peligros para la región metropolitana a escala 1:250.000. Se toma como referencia las fallas potencialmente activas (<2.59 Ma; cuaternarias) en la cercanía o dentro de la comuna de Padre Hurtado. En particular se toma como referencia una traza inferida de movimiento desconocido a lo largo del río Mapocho entre el puente La Esperanza y Talagante.

## **2.1.4 Insumos generales.**

### **2.1.4.1 Plan Regulador Metropolitano de Santiago, modificación MPRMS 73 (SEREMI MINVU, 2006).**

Modificación 73, incorpora las comunas de Curacaví, María Pinto, Melipilla, San Pedro, Alhué, Padre Hurtado, Peñaflor, Talagante, Isla de Maipo, El Monte, Buin y Paine. Se utiliza plano de Zonificación de Usos de Suelo N°: RM-PRM-02-pTM/cBP-1.A. Se presta especial interés a las áreas restringidas al desarrollo urbano por riesgo de origen natural por inundación: (1) Áreas de Riesgo de Inundación y Protección de Cauces Naturales y Cuerpos de Agua, (2) Área con Napa Freática Superficial, y (3) Suelos de Mal Drenaje.

### **2.1.4.2 Plan de Desarrollo Comunal (IMPH, 2022).**

El Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), basado en el PRMS (SEREMI MINVU, 2006), muestra y profundiza sobre las áreas de riesgo de origen natural por inundación por desbordes y por napa freática. Se hace hincapié en que en el sector de San Ignacio existe un problema recurrente de inundaciones por anegamiento que afectan a 200-300 casas.

## **2.1.5 Insumos cartográficos.**

### **2.1.5.1 Levantamiento de detalle.**

Ortofoto de 0,1 m/px y modelos de elevación digital de superficie (DSM) y de terreno (DTM) de 0,5 m/px, que cubren prácticamente la totalidad del área comunal de Padre Hurtado (aproximadamente 82 km<sup>2</sup>).

El mosaico digital orto-rectificado de 0,1 m de resolución y modelos de elevación digital (de superficie y terreno) de 0,5 m/px de resolución fueron generados a partir de aerofotogrametría.

### **2.1.5.2 Modelos de elevación e imágenes satelitales regionales de catálogo público.**

Se incluyen los siguientes antecedentes:

- FABDEM versión 1.2 de 30 m/px (Hawker, y otros, 2022), basado en el modelo digital de elevación Copernicus GLO 30.
- Imágenes satelitales del territorio comunal. provistas por Google Earth.

## **2.2 ENTREVISTAS Y REUNIONES.**

Se realizaron reuniones con actores relevantes para el estudio, como el encargado de emergencias de la I. Municipalidad de Padre Hurtado.

### **2.2.1 Unidad de Emergencias y Gestión de Riesgo de Desastres Municipalidad de Padre Hurtado – Alejandro Vega.**

En esta reunión se abordó, en general, las amenazas que afectan al territorio comunal, con énfasis en la identificación de zonas críticas afectadas a procesos de inundaciones y anegamiento por napa freática y por acumulación de aguas lluvias. También se tocaron algunos casos de remociones en masa en la ruta 68 (cuesta Barriga).

### **2.2.2 Habitante de Padre Hurtado – Luis Véliz.**

Se efectuó una entrevista a Don Luis Véliz, habitante del sector de Los Tururos desde el año 1981 (cima de la Cuesta Barriga, local de venta de empanadas). Con una vista privilegiada y panorámica de gran parte del territorio comunal, ha sido testigo de su desarrollo durante más de 40 años. En esta entrevista se abordaron temas relacionados con amenazas naturales, la ocurrencia de anegamientos, flujos de barro y/o detritos, etc. Se comparte registro fotográfico importante sobre evento de anegamiento durante la década de 1980 en el sector de Santa Mónica-San Luis (FIGURA 5-5).

## **2.3 AJUSTE DE AMENAZAS IDENTIFICADAS.**

### **2.3.1 Sismicidad.**

La comuna de Padre Hurtado, en el contexto de Chile central, cuenta con un registro de sismos históricos importante, sobresaliendo sismos de mecanismos directamente ligados al proceso de subducción (sismicidad interplaca e intraplaca de profundidad intermedia). Dentro de este registro destacan los terremotos de 1647, 1906 y 1965. Dada la posibilidad de ocurrencia de estos tres tipos de sismos, se considera necesario analizar la amenaza en mayor profundidad. Con respecto a la sismicidad cortical, en el área no existe certeza fundada sobre la existencia de fallas corticales activas, por lo que no se abordará este mecanismo sismogénico.

### **2.3.2 Volcanismo.**

De acuerdo con el ranking de riesgo específico de volcanes activos de Chile de SERNAGEOMIN (RNVV-Sernageomin, 2020), en la región Metropolitana hay tres volcanes considerados activos: volcán Tupungatito, complejo volcánico San José y volcán Maipo. Los siguientes son los mapas de peligro disponibles:

- Lara (2004), Peligros volcánicos y fallas geológicas de la Región Metropolitana de Santiago, escala 1:250.000.
- Silva, Orozco y Moreno (2012) Mapa preliminar de peligros volcánicos Complejo Volcánico San José, escala 1:100.000.
- Silva y Bertín (2012) Mapa preliminar de peligros volcánicos Volcán Tupungatito, escala 1:100.000.
- Orozco et al., (2013) Peligros volcánicos de la zona central de Chile, Regiones Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y del Biobío, escala 1:250.000.
- Flores y Jara (2018), Peligros del volcán Tupungatito, región Metropolitana de Santiago, escala 1:50.000.

Dado que estos volcanes se encuentran a más de 80 kilómetros de distancia al este de Padre Hurtado, sumado a que no se cuenta con una conectividad hidráulica directa con los centros de emisión, los mapas de peligro disponibles no indican afectación en el área. De esta manera, se estima existe una baja posibilidad de que la comuna se vea afectada por procesos volcánicos, siendo solo posible la caída de material fino bajo condiciones excepcionales de erupciones prolongadas combinadas con direcciones de vientos desfavorables. Debido a esto, la amenaza volcánica no se zonifica en el área de estudio.

### **2.3.3 Inundaciones terrestres.**

La comuna de Padre Hurtado es atravesada por el río Mapocho en toda su longitud. Este posee pequeños esteros tributarios como el estero Frío por su costado occidental. Además, dentro de la zona más urbana que está al oriente del río Mapocho, existen canales de regadío que proveen de agua a parcelaciones satélite que aún existen.

Respecto al anegamiento, se reconocen dos tipos en la comuna. Uno de ellos está asociado a zonas deprimidas que resultan del proceso de urbanización. El otro responde a una extensa zona ubicada al oeste del río Mapocho, que tiene malas condiciones de drenaje.

En cuanto a la napa freática, es una amenaza presente en el sector occidental de Padre Hurtado, donde existen parcelaciones cuya superficie es pantanosa y no han sido destinadas ni al cultivo ni a la ganadería debido a las dificultades de desplazamiento en dicha zona.

### **2.3.4 Remociones en masa.**

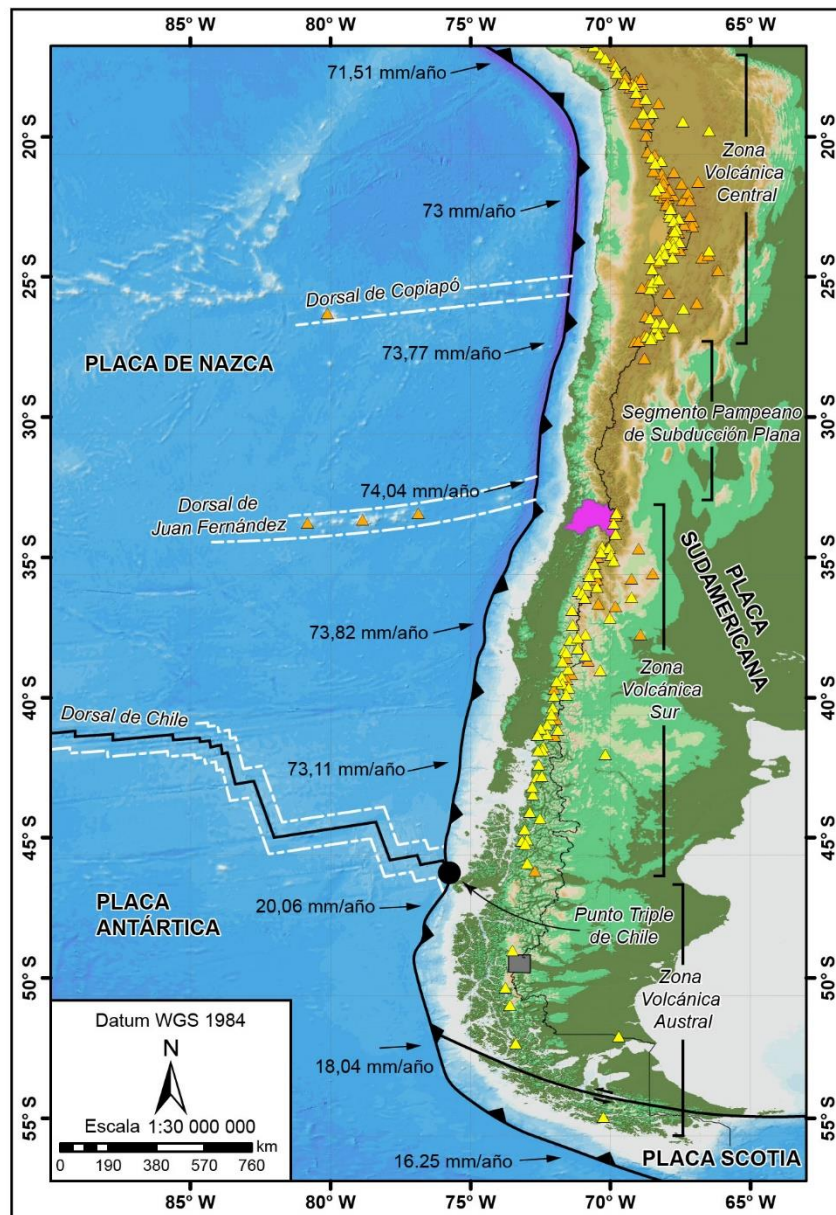
La comuna de Padre Hurtado en su mayoría posee bajas pendientes. Sin embargo, hacia el sector occidental donde se encuentra la cordillera de la Costa, existen desniveles superiores a 300 m y altas pendientes, pero con escasos afloramientos de roca. Además, existe un resumido y acotado registro de los eventos históricos de estas amenazas que hayan afectado el territorio. En base a ello, en los próximos capítulos se analizan en mayor detalle los procesos de ladera y los flujos de barro y/o detritos para poder delimitarlos según la información disponible y fundándose, principalmente, en criterios geológicos y geomorfológicos.

### 3 LÍNEAS DE BASE

#### 3.1 CONTEXTO GEODINÁMICO.

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (FIGURA 3-1) donde la placa oceánica de Nazca subducta bajo el margen occidental de la placa continental Sudamericana. De acuerdo con los resultados de diversas investigaciones científicas, este proceso de subducción se encuentra activo desde hace unos 200 a 300 millones de años, y en sus fases finales, ha dado origen a lo que hoy se conoce como la cordillera de Los Andes (Mpodozis & Ramos, 1989; Coloma, y otros, 2017; Oliveros, y otros, 2020).

**FIGURA 3-1: Marco Geodinámico General. En fucsia se destaca la región Metropolitana, donde se encuentra la comuna de Padre Hurtado. La línea negra con triángulos muestra la fosa Perú-Chile. Los triángulos naranjas corresponden a volcanes pleistocenos, y los triángulos amarillos a volcanes holocenos.**



Fuente: Elaboración propia (2023).

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

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

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

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

La región Metropolitana se emplaza en el extremo norte de la Zona Volcánica Sur (ZVS). De esta manera, en su territorio incorpora tres centros eruptivos de edad holocena, siendo estos, de norte a sur, los volcanes Tupungatío, San José y Maipo.

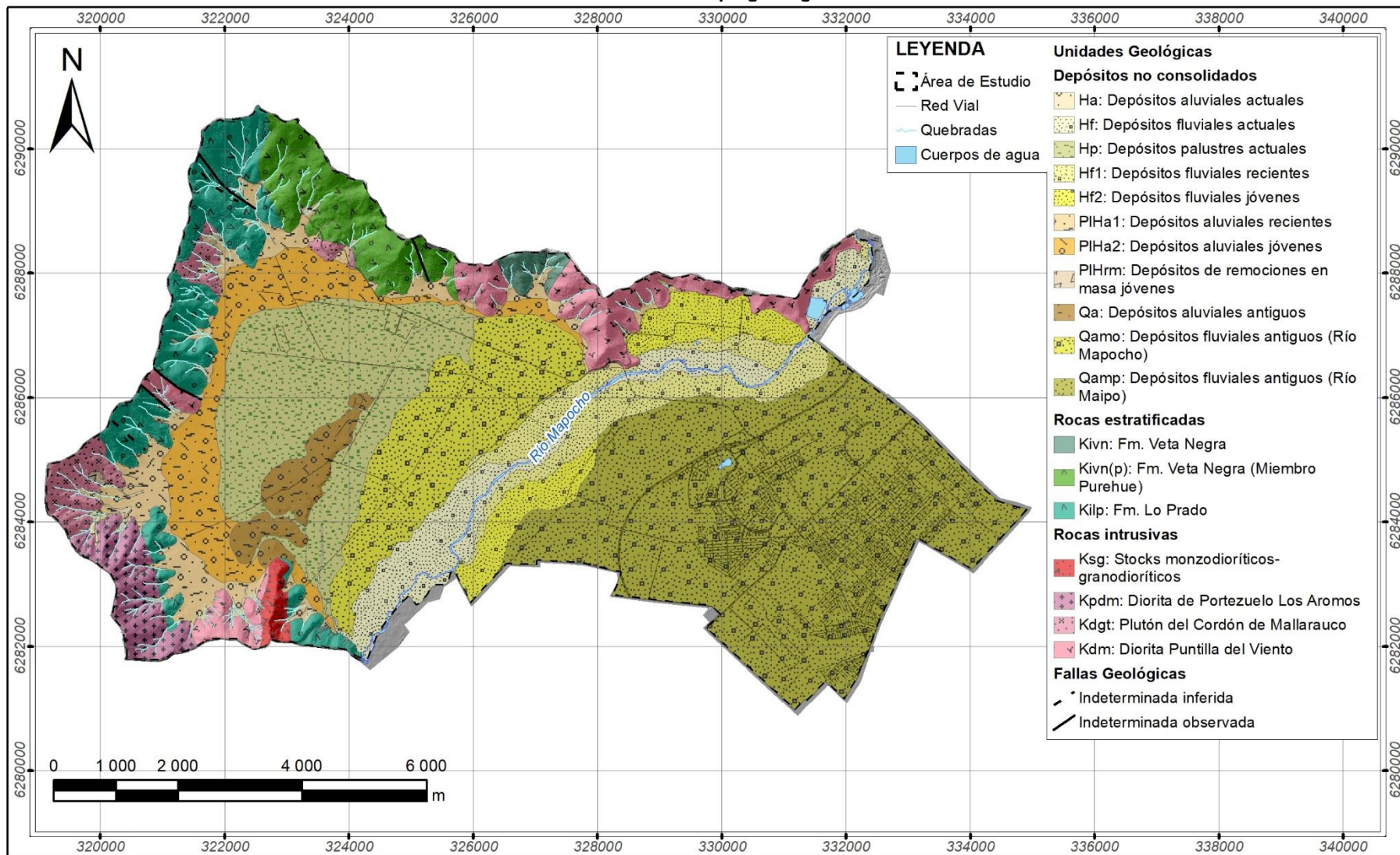
### 3.2 GEOLOGÍA

Para el levantamiento de la geología del área de estudio, se consideraron los antecedentes más relevantes recopilados por el equipo consultor, los cuales corresponden a las siguientes cartas u hojas geológicas, elaboradas por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN):

- Sellés, D.; Gana, P. (2001). Geología del área Talagante - San Francisco de Mostazal. Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica.
- Antinao et al. (2003). Peligro de remociones en masa e inundaciones de la cuenca de Santiago. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental.

A continuación, se describen las unidades litológicas y las estructuras identificadas en el área de estudio basados en los antecedentes indicados anteriormente (FIGURA 3-2). Es relevante señalar que el levantamiento geológico se realizó a escala 1:2.000 para el área comunal.

FIGURA 3-2: Mapa geológico.



Fuente: Modificado a partir de Sellés & Gana (2001) y Antinao (2003).

### 3.2.1 Unidades litológicas.

#### 3.2.1.1 Depósitos no consolidados.

- **Depósitos aluviales actuales *Ha*.**  
Sedimentos no consolidados compuestos de gravas gruesas angulosas, arenas y limos ubicados al interior de las quebradas. Son el resultado de flujos de barro y/o detritos más recientes y están, generalmente, interdigitados con depósitos gravitacionales.
- **Depósitos fluviales actuales *Hf*.**  
Depósitos no consolidados, relacionados con el curso fluvial activo del río Mapocho y del estero Frío. Se constituye de gravas y gravas arenosas, compuestas por fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas. Posee, además, escasos niveles de limos, depositados en periodos de bajo caudal.
- **Depósitos palustres actuales *Hp*.**  
Depósitos no consolidados carbonatados y siliciclásticos, que están constituidos por limos, arcillas y arenas limosas. Se ubica en zonas deprimidas, donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad y que fluctúa producto de variaciones ambientales entre periodos saturados en agua y otros de exposición subaérea (Vargas P. , 2022).
- **Depósitos fluviales recientes *Hf1* y jóvenes *Hf2*.**  
Sedimentos no consolidados, compuestos de gravas, arenas y limos asociados al río Mapocho. Se ubican en nivel topográfico superior con respecto al curso fluvial actual, relleno el lecho mayor del río y formando dos niveles aterrazados: uno inferior más reciente (formado por *Hf1*) y otro superior más antiguo (formado por *Hf2*).
- **Depósitos aluviales recientes *PIHa1* y jóvenes *PIHa2*.**  
Depósitos no consolidados, mal seleccionados y ubicados en las faldas y pie de cerros. Constituidos por claros y bloques cuyos tamaños varía desde centimétricos a métricos de génesis litológica local, que son removilizados gravitacionalmente. Los depósitos más recientes forman abanicos aluviales coalescentes en las zonas de salidas de quebradas (*PIHa1*) y los más antiguos forman llanuras aluviales bajo estos abanicos aluviales (*PIHa2*).
- **Depósitos de remociones en masa jóvenes *PIHrm*.**  
Depósitos macizos, polimícticos y mal seleccionados, que responden a depósitos de flujos de detritos y barro generados por acción gravitacional. Está conformado por variados tamaños de bloques, desde decimétricos a métricos. Se ubican en diversos lugares al pie de montaña y taludes de alta pendiente. Otros depósitos corresponden a los derrumbes de laderas.
- **Depósitos aluviales antiguos *Qa*.**  
Sedimentos aluviales moderadamente consolidados, que constituyen un alto topográfico local que establece un resalto de 8-15 m en su costado oriental por sobre la planicie de la Depresión Central.
- **Depósitos fluviales antiguos *Qamo* (Río Mapocho) y *Qamp* (Río Maipo) .**  
Depósitos con bajo estado de consolidación, relacionados con cursos fluviales abandonados. Se compone de gravas y gravas arenosas de fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas. Se reconocen, por un lado, como niveles aterrazados con alturas que varían entre los 3 y 20 m sobre el curso actual (1) y, por otro, depósitos ubicados en cauces abandonados o que suelen ser inundados en periodos de crecida, cubierta con una delgada capa de suelo y vegetación incipiente (2). Estos últimos destacan en sectores junto a los ríos Peuco y Angostura.

### 3.2.1.2 Rocas estratificadas.

- **Formación Veta Negra Kivn (Barremiano-Aptiano)** (Thomas, 1958)  
Secuencia de lavas, en parte subvolcánica y piroclástica, con escasas intercalaciones sedimentarias, que afloran en los cordones montañosos que bordean el sector norte de la comuna. La intruyen plutones Kdgt y Ksg. Se dispone concordantemente sobre la Formación Lo Prado y subyace, en discordancia angular a la Formación Las Chilcas. Se constituye de lavas porfíricas e intrusivos andesíticos con grandes cristales de plagioclasas, tobas de ceniza, areniscas rojizas de grano grueso y escasos lentes calcáreos. En el sector de cuesta Barriga, el Miembro Purehue (*Kivn(p)*) se caracteriza como una secuencia volcánica de 500 m de espesor aproximado, compuesta por lavas andesíticas de anfíbola y piroxeno, afaníticas y porfídicas macizas y, en menor proporción, tobas de lapilli andesíticas a dacíticas de textura fluidal.
- **Formación Lo Prado Kilp (Berriasiano-Hauteriviano)** (Thomas, (1958); emend Piracés (1976))  
Secuencia volcánica con intercalaciones sedimentarias marinas, de aproximadamente 1.500 m de espesor, que se expone en los sectores de cuesta Barriga y al sur de la comuna. Subyace concordantemente a la Formación Veta Negra, mientras que su base no se expone en el área del mapa. Se encuentra intruida por los plutones Kdgt, Kdm, que presentan extensas aureolas de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal. Comprende tobas de lapilli compuestas por fragmentos dacíticos y andesíticos, tobas con esquirlas de vidrio y trozos de pómez colapsados, e intercalaciones de lavas dacíticas y lavas andesíticas de anfíbola y de piroxeno autobrechizadas. Las intercalaciones sedimentarias de la Formación Lo Prado se concentran principalmente hacia el techo de la secuencia e incluyen calizas bioclásticas y areniscas calcáreas fosilíferas, lutitas, arenitas feldespáticas y conglomerados, los que, en el sector de cuesta Barriga, alcanzan un total de 400 m de espesor. Estos niveles tienen continuidad lateral con los que afloran al sur de la cuesta Lo Prado y la quebrada La Plata (hacia el norte, fuera del mapa), que tienen presencia fosilífera. La secuencia representa depósitos acumulados en un ambiente marino litoral, contemporáneo con actividad volcánica explosiva intermedia a ácida, en parte de carácter ignimbrítico.

### 3.2.1.3 Rocas intrusivas.

- **Stocks monzodioríticos-granodioríticos Ksg (Cretácico Superior; 89-83 Ma)**  
Corresponden a *stocks* de monzodiorita cuarcífera a granodiorita de anfíbola, biotita y piroxeno con una superficie máxima de unos 28 km<sup>2</sup> afloran en los cerros al sur de Padre Hurtado. Se constituyen de rocas de grano medio a fino, color gris claro a rosáceo, que contienen anfíbola, piroxeno y biotita en composiciones variables, y feldespatos alterados a esmectita.
- **Diorita de Portezuelo Los Aromos Kpdm (Cretácico Inferior)**  
Plutón de pórfido diorítico cuarcífero a monzodiorítico de anfíbola de 5 km<sup>2</sup> de superficie, que aflora en el sector suroccidental de la comuna, e intruye la unidad Kdgt y la Formación Lo Prado. Lo constituyen rocas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, anfíbola, biotita y cuarzo, y están afectadas por alteración moderada a fuerte. Como no se cuenta con edades absolutas, se asume para este plutón una probable edad cretácica inferior por situarse en la franja de intrusivos de esta edad de la cordillera de la Costa.
- **Plutón del Cordón de Mallarauco Kdgt (Cretácico Inferior, 107-91 Ma)**  
Plutón de tonalitas y granodioritas de anfíbola y biotita con piroxeno ocasional, de más de 40 km<sup>2</sup> de superficie, que aflora en el extremo occidental del mapa. El cuerpo intruye la Formación Lo Prado e imprime un halo de metamorfismo de contacto y alteración de aproximadamente 3 km de ancho en los niveles basales y medios de dicha formación. Está formado por rocas de color gris claro a medio, de grano medio, cuyos minerales se presentan moderadamente alterados.
- **Diorita Puntilla del Viento Kdm (Cretácico Inferior, 114-111 Ma)**  
Corresponden a 'Stocks' dioríticos de anfíbola±piroxeno a monzodioríticos cuarcíferos de anfíbola y biotita expuestos al norte del río Mapocho y en el sector sur y occidental del área. Intruyen las formaciones Lo Prado y

Veta Negra y, a su vez, son intruidos por las unidades Kpdm y Ksg. Son rocas mesocráticas a melanocráticas, de grano medio a grueso, que presentan alteración.

### 3.2.2 Estructuras.

En la zona de la Cordillera de la Costa, al sur de la laguna Aculeo, se reconocen pliegues de orientación norte-sur y noroeste que afectan a la Formación La Chilcas y que se habrían deformado a comienzos del Cretácico superior (hace 98-90 millones de años), junto con fallas normales de que afectan a rocas volcánicas e intrusivas del Cretácico superior (Sellés & Gana, 2001). En la Cordillera de la Costa también se reconocen lineamientos que formarían parte de la Falla Melipilla, que estuvo activa entre el Triásico superior y el Cretácico superior (Sellés & Gana, 2001).

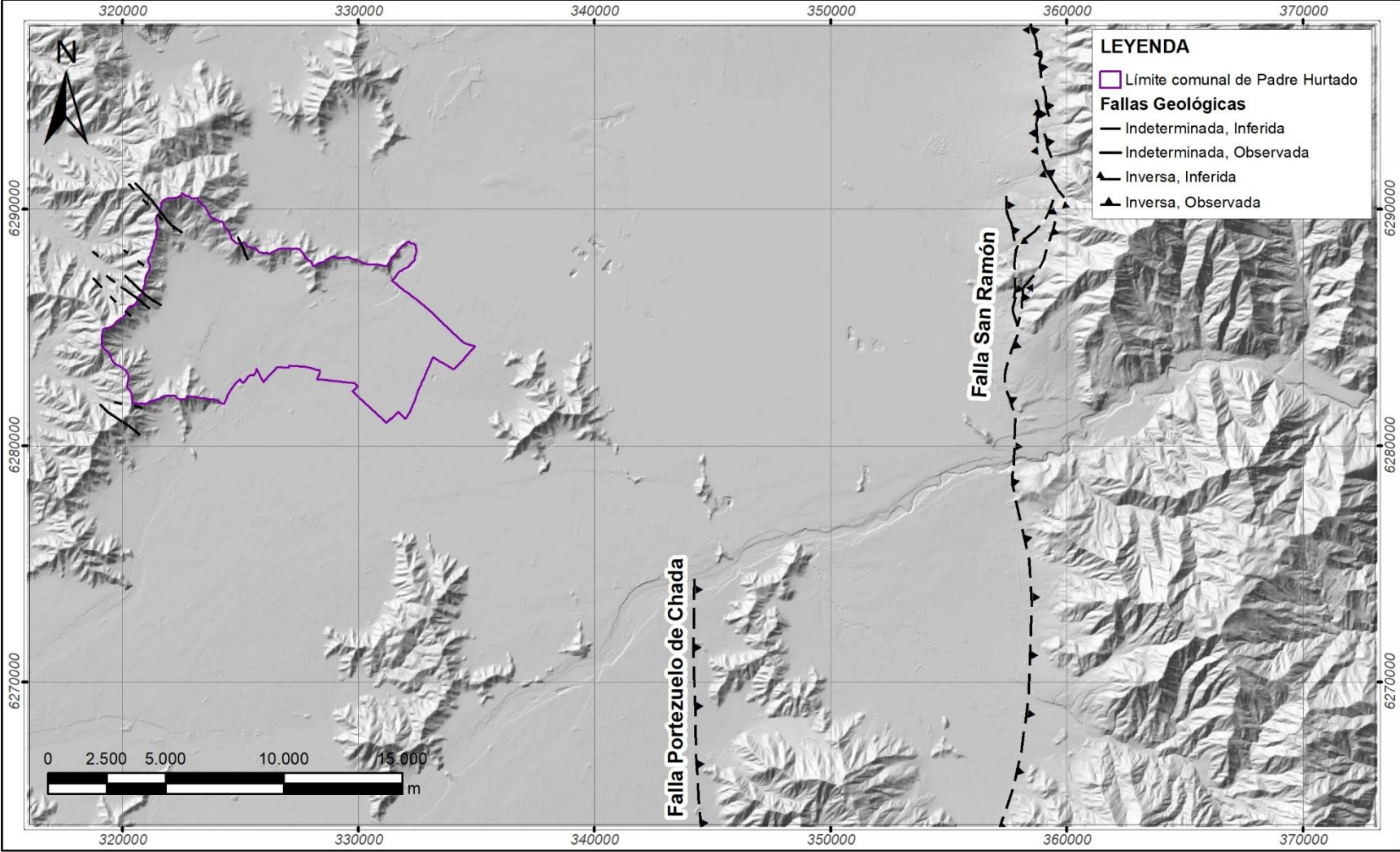
El borde oriental de la Depresión Central de la Región Metropolitana está limitado por la Falla San Ramón (Armijo, y otros, 2010; Rauld, 2011), que corresponde a una falla inversa de orientación norte-sur y que presenta evidencias de deformación durante el Holoceno (últimos 10.000 años). Además, es posible encontrar la falla Portezuelo de Chada que de carácter inverso con vergencia al oeste (Fock, 2005). El borde occidental coincide con un sistema de fallas normales de orientación norte-sur a noroeste; sin embargo, no existen suficientes evidencias del papel que podrían haber jugado estas fallas en la formación de la Depresión Intermedia.

En la Cordillera de los Andes, al oriente de la localidad de Angostura, el nivel inferior de la Formación Abanico está afectado por fallas de alto ángulo de orientación noreste a norte-sur, mientras que el nivel superior se encuentra deformado mediante pliegues apretados asimétricos. Y en la parte alta del cerro San Francisco, los niveles altos de la Formación Abanico se encuentran afectados por fallas inversas de vergencia occidental y pliegues con longitud de onda de centenas de metros (Sellés & Gana, 2001). Esta estructura se habría formado, aparentemente, durante una etapa de compresión en el Mioceno superior.

Localmente, en la comuna de Padre Hurtado solo son reconocibles algunas fallas indeterminadas de orientación NO-SE, en el límite entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central y que afectan principalmente a la Formación Lo Prado (Kilp) y que, en algunos casos, la ponen en contacto con la Diorita Puntilla del Viento (Kdm).

En la FIGURA 3-3 se presentan las estructuras mencionadas a nivel regional y local.

FIGURA 3-3: Mapa de estructuras.



Fuente: Elaboración propia (2023).

### 3.3 GEOMORFOLOGÍA.

#### 3.3.1 Unidades morfoestructurales.

Entre los 33°S y 34°S, latitudes entre las cuales se encuentran las zonas de estudio, es posible reconocer tres unidades morfoestructurales dispuestas de manera subparalelas entre sí, con orientación norte-sur. De oeste a este corresponden a la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal. La comuna de Padre Hurtado se encuentra entre las dos primeras.

La Cordillera de la Costa corresponde a la cadena montañosa de ancho variable (menos de 100 km), cuyas cumbres en pocas ocasiones superan los 2.000 m s.n.m. En la comuna, destaca la Cuesta Barriga que se eleva por sobre los 1000 m s.n.m. en la Cordillera de la Costa y la cumbre más prominente corresponde al Cerro Bandera de 1.128 m s.n.m. ubicado al noroeste de la comuna de Padre Hurtado.

La Depresión Central corresponde a una extensa llanura levemente inclinada hacia el oeste, donde el promedio de su pendiente no supera los 5°. Sus elevaciones oscilan entre los 200 y 600 m s.n.m.

Finalmente, la Cordillera Principal corresponde a la unidad que más destaca (por su altura) a nivel regional. Las elevaciones de esta unidad pueden alcanzar alturas superiores a los 5.000 m s.n.m., como el caso del Cerro Plomo (5.430 m s.n.m.) o Juncal (6.060 m s.n.m.) a estas latitudes.

#### 3.3.2 Unidades geomorfológicas locales.

La comuna de Padre Hurtado, como se mencionó anteriormente, se encuentra emplazada entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central. Sin embargo, a escala de detalle es posible reconocer otras unidades y características geomorfológicas dentro de estas morfoestructuras. A continuación, se describen las características topográficas más relevantes y las principales unidades geomorfológicas a escala local.

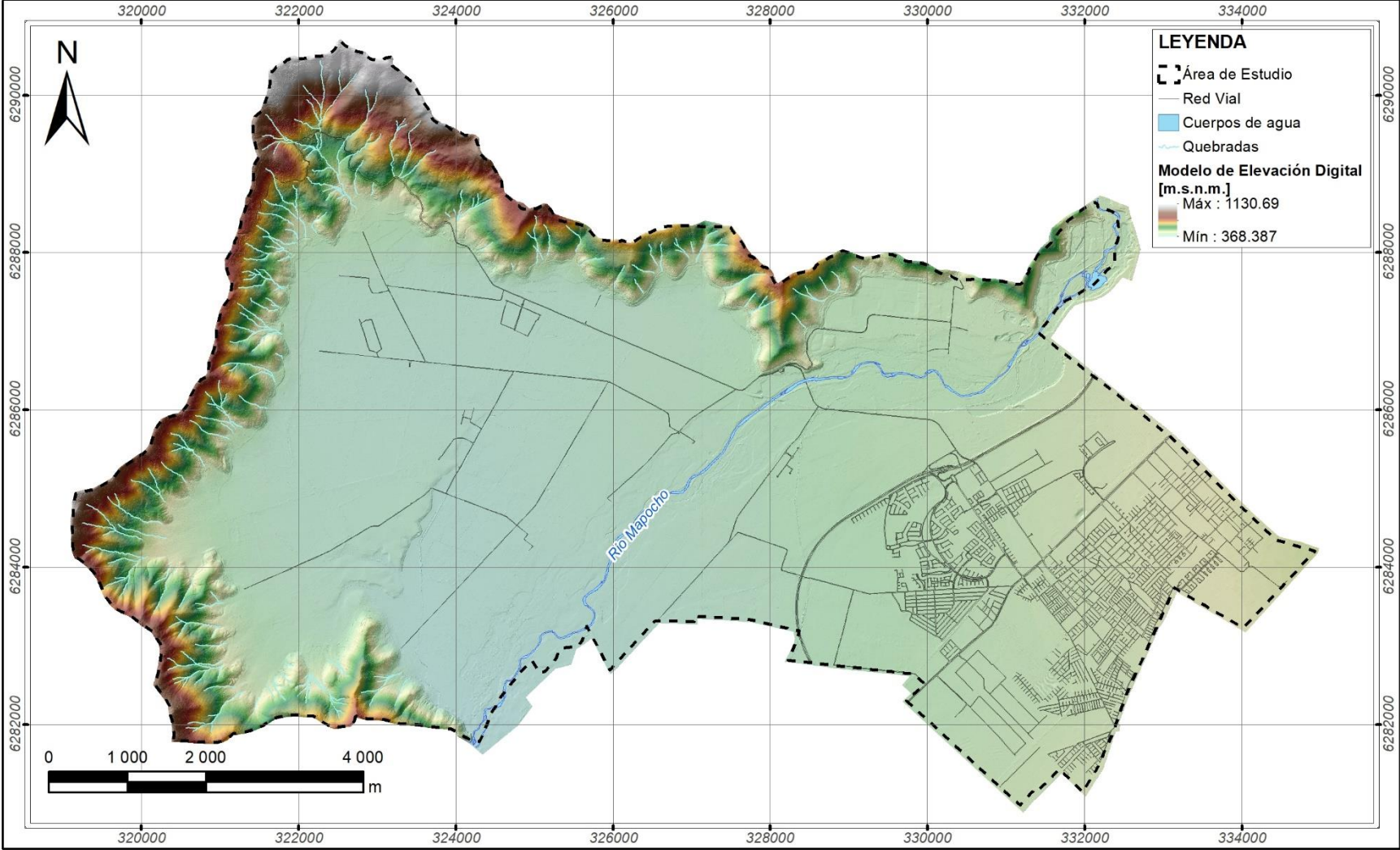
La topografía de la comuna se compone principalmente por un valle a una elevación de entre 368 y 475 m s.n.m. de bajas pendientes, menores a 15°. Este valle está custodiado por cumbres y serranías hacia los límites occidentales de la comuna, alcanzando hasta los 1.130 m s.n.m. y de pendientes que van desde los 15° y que pueden llegar hasta más allá de los 35°. El mapa de elevaciones se presenta en la FIGURA 3-4. y el mapa de pendientes en la FIGURA 3-5.

Con respecto a las unidades geomorfológicas locales, estas se presentan en la FIGURA 3-6 y se describen a continuación:

- **Depresión palustre:** corresponde a una planicie de elevaciones menores a 400 m s.n.m. y pendientes menores a 15°, que esporádicamente se inunda debido a las fluctuaciones del nivel freático.
- **Quebradas, abanicos y planicies aluviales:** corresponden a geoformas cónicas y lobulares que se localizan en la salida de algunas quebradas insertas en el relieve montañoso de la comuna y que poseen conexión con su zona fuente, así como a zonas más atenuadas y erodadas. Se encuentran al poniente del territorio comunal. Su génesis se debe principalmente a procesos de remoción en masa del tipo flujo de detritos y/o barro.
- **Terrazas fluviales:** corresponden a terrazas de origen fluvial conformadas por los depósitos fluviales actuales (Hf), recientes (Hf1) y jóvenes (Hf2) asociados al río Mapocho y al estero Frío. Sus pendientes son bajas (< 15°) y sus altitudes no superan los 6 - 8 m con respecto al cauce del río.
- **Planicies fluviales:** corresponden a extensas planicies formadas por los depósitos fluviales antiguos asociadas a los ríos Mapocho (Qamo) y Maipo (Qamp) y que conforman las terrazas más antiguas de estos ríos.
- **Escombros de falda:** están conformadas por depósitos de remociones en masa que se encuentran entre las quebradas aluviales.

- **Relieve montañoso:** corresponde a los cuerpos rocosos y de montaña, que conforma la Cordillera de la Costa en el borde occidental de la comuna, de pendientes entre 15 a más de 35° y elevaciones que alcanzan los 1.130 m s.n.m. Están delimitados principalmente por geformas cuaternarias asociadas a procesos aluviales.

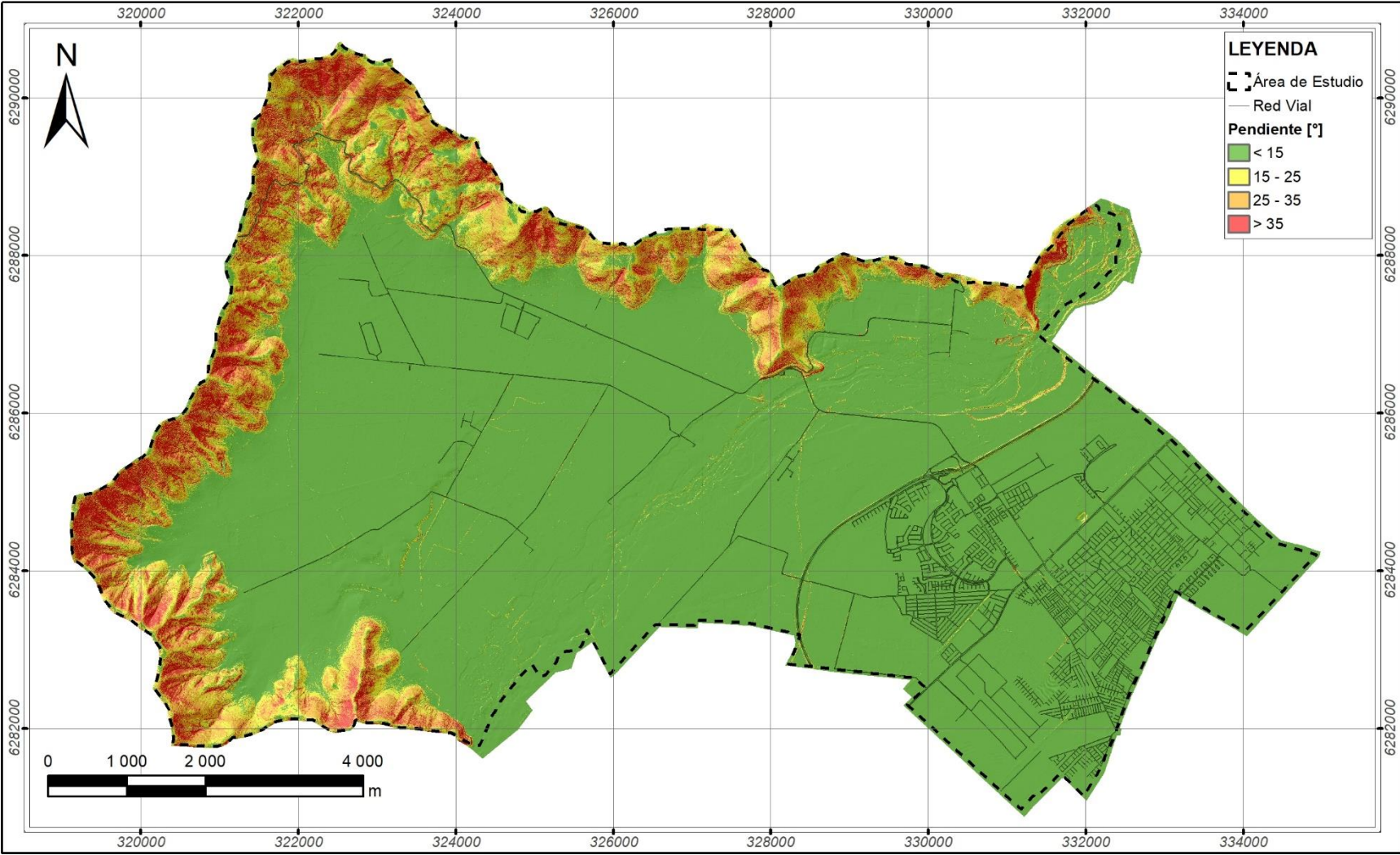
FIGURA 3-4: Mapa de elevaciones.



Fuente: Elaboración propia (2023).

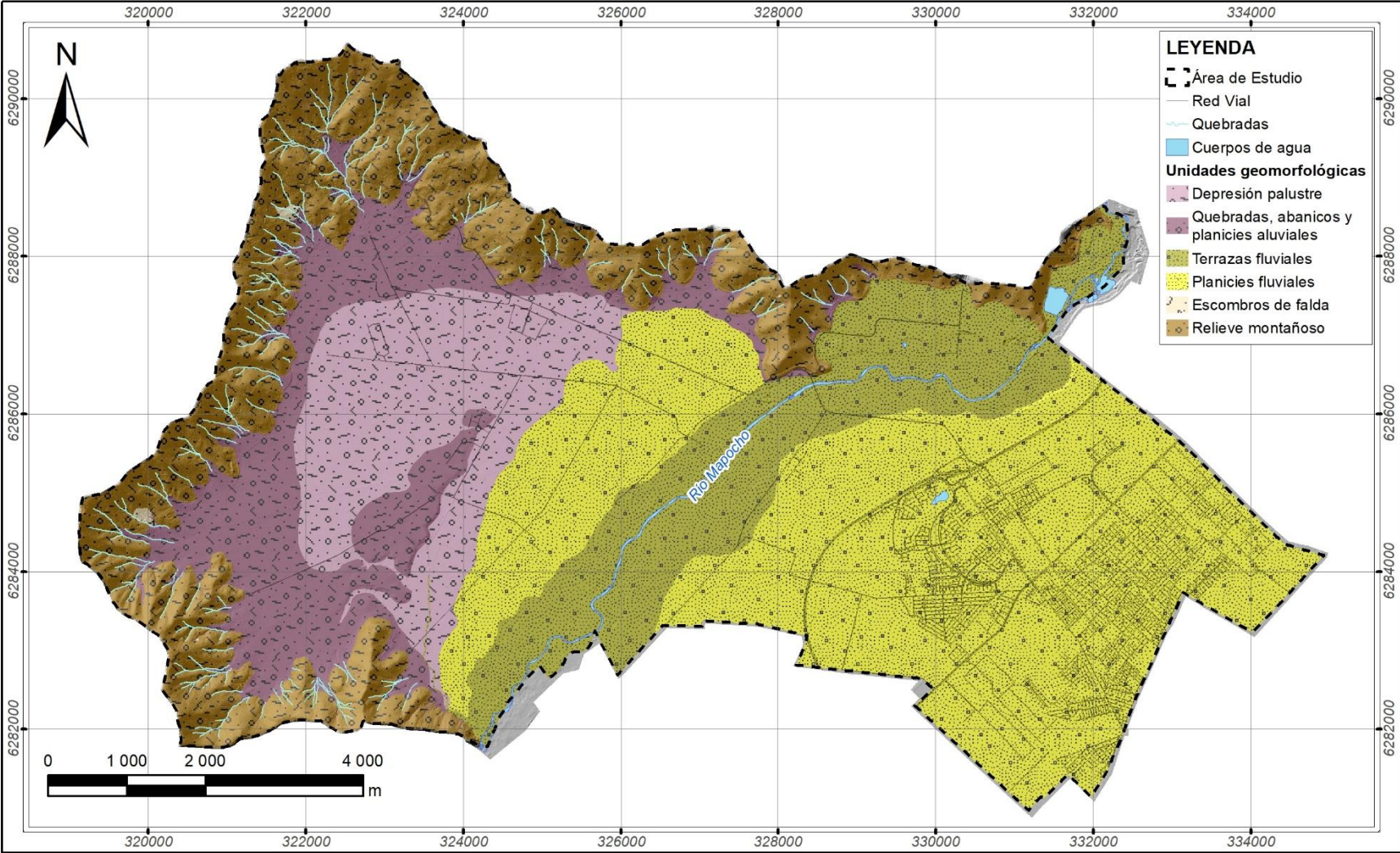
PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

FIGURA 3-5: Mapa de pendientes.



Fuente: Elaboración propia (2023).

FIGURA 3-6: Mapa de geomorfología.



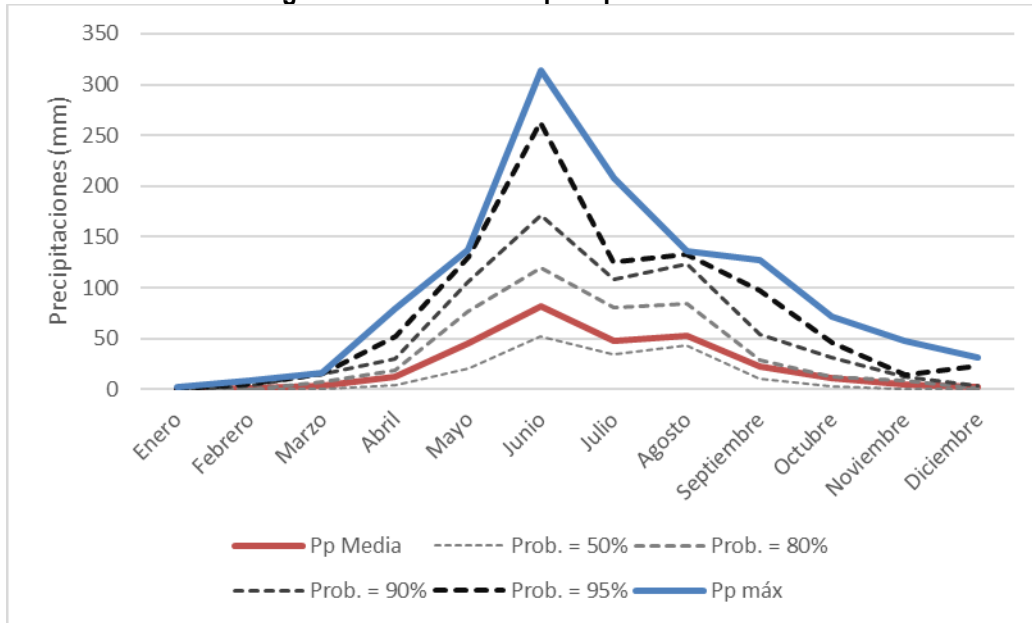
Fuente: Elaboración propia (2023).

### 3.4 CLIMA.

De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger, el clima en la comuna de Padre Hurtado se clasifica como mediterráneo de lluvia invernal (Departamento de Geografía Universidad de Chile, 2019). Este clima se caracteriza por presentar precipitaciones concentradas en los meses de invierno, con temperaturas templadas en los meses de invierno y cálidas en verano.

Las precipitaciones en la comuna se han representado mediante el registro de la estación Fundo Marruecos, que está ubicado en la parte oriental de la comuna y cuenta con registro de la Dirección General de Aguas entre los años 1989 y 2019. De acuerdo con este registro, la precipitación media anual se encuentra alrededor de 280 mm. La FIGURA 3-7 sistematiza los registros de precipitaciones de dicha estación, donde se observa que las precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y agosto.

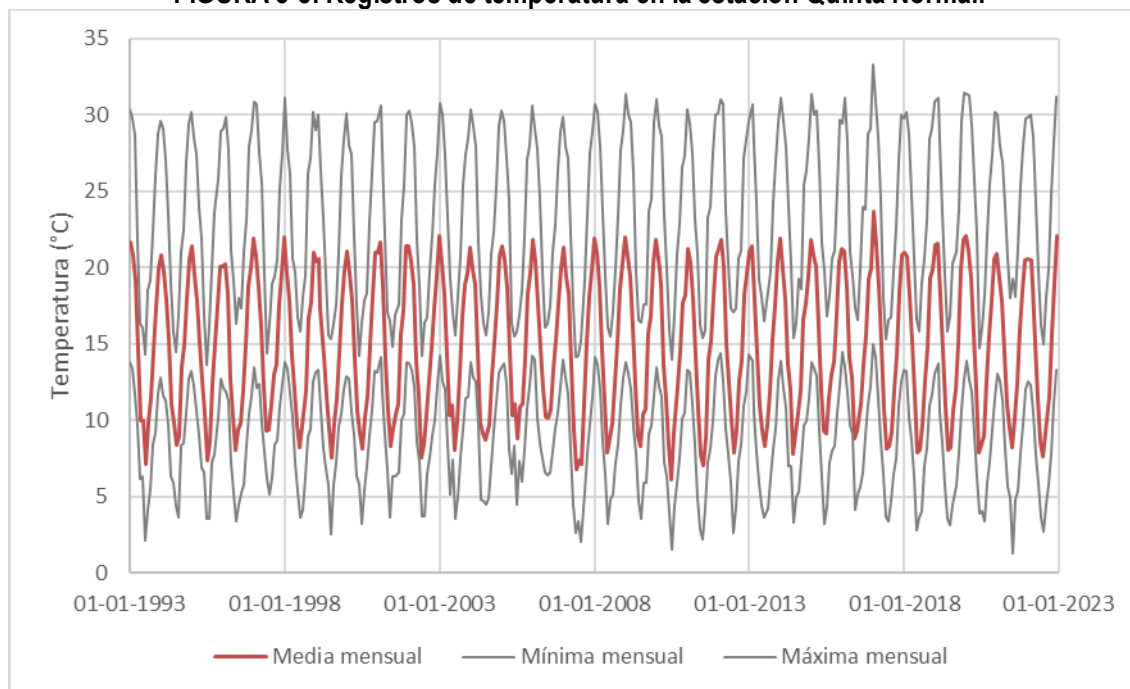
**FIGURA 3-7: Síntesis de los registros mensuales de precipitaciones en la estación Fundo Marruecos.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros del explorador climático <https://explorador.cr2.cl/>

En cuanto a las temperaturas, se representan mediante el registro de la estación Quinta Normal, ubicada en la comuna de Santiago. Para este estudio, se consideraron exclusivamente los registros de temperatura entre los años 1993 y 2022. Los registros de temperatura de la comuna se sistematizan en la FIGURA 3-8.

**FIGURA 3-8: Registros de temperatura en la estación Quinta Normal.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los registros del explorador climático <https://explorador.cr2.cl/>

### 3.5 HIDROGRAFÍA.

La comuna de Padre Hurtado se encuentra en la cuenca del río Maipo, cuya área es de 15.274 km<sup>2</sup> y su régimen es exorreico (MOP, 2014). En lo que tiene relación con la administración de los recursos hídricos, forma parte del sistema Maipo-Mapocho.

El principal cauce de la comuna es el río Mapocho, que atraviesa la comuna de noreste a suroeste. Además, en la comuna está el estero Frío, que drena el sector Los Corrales, al noroeste del río Mapocho. Por último, en la comuna existe una gran cantidad de canales artificiales.

El río Mapocho es la escorrentía de agua más importante de la comuna, con una extensión de 110 km de largo. Este río nace en la Cordillera de Los Andes y tiene un régimen nivo-pluvial. Como consecuencia, cuenta con escurrimiento permanente durante todo el año y con crecidas asociadas a lluvias durante el invierno y a deshielos durante temporadas estivales. El río Mapocho posee un caudal promedio de 20 m<sup>3</sup>/s, oscilando entre los 9 y 33 m<sup>3</sup>/s para un año hidrológico normal (MOP-DOH, 2008).

El estero Frío es un afluente del río Mapocho desde el sector Los Corrales. Este cauce drena una zona deprimida, que se encuentra entre los depósitos aluviales jóvenes, asociados a la Cordillera de la Costa, y la zona distal del abanico aluvial del río Mapocho. Adicionalmente, este cauce recibe aportes desde canales artificiales.

### 3.6 HIDROGEOLOGÍA.

Para el análisis hidrogeológico a escala comunal, se recopilaron registros de niveles de 6 pozos de la DGA (CUADRO 3-1), abarcando una serie de tiempo desde 1962 hasta 2022 que está incompleta debido a la ausencia de datos durante algunos años y meses. De estos pozos, 4 se encuentran dentro de la comuna de Padre Hurtado mientras que los otros dos se ubican en la comuna vecina Peñaflor (pozos Asentamiento Malloco y Chacra Andalucía) (FIGURA 3-9).

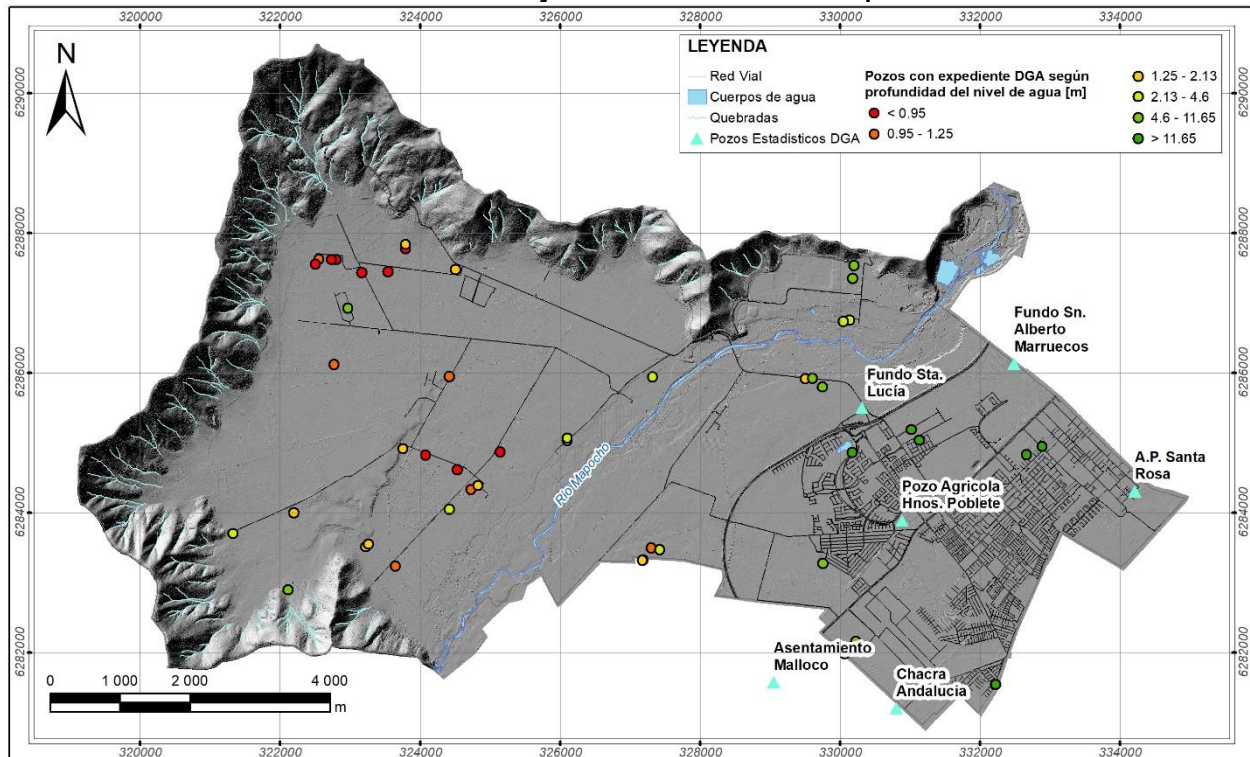
**CUADRO 3-1: Pozos estadísticos DGA revisados y con datos disponibles junto a su código BNA, coordenadas y rango temporal de la serie de tiempo.**

Nombre	Código BNA	Coordenadas		Inicio	Fin
		Norte	Este		
Asentamiento Malloco	05737011-4	6281575	329053	1969	2020
Chacra Santa Lucía	05737010-6	6281204	330809	1969	2020
Fundo Sn. Alberto Marruecos	05737009-2	6286125	332491	1962	2010
A.P. Santa Rosa	05737015-7	6284304	334218	1989	2020
Fundo Sta. Lucía	05737014-9	6285500	330322	1998	2019
Pozo Agrícola Hnos. Poblete	05737017-3	6283888	330891	2006	2019

Además, se recopilaron los expedientes de los pozos autorizados por DGA y que se encuentran dentro del límite comunal de Padre Hurtado para obtener el nivel piezométrico del territorio. De esta manera, de 69 pozos de interés se lograron recabar datos de nivel estático para 49 de estos.

Los niveles medidos en estos pozos, correspondientes al nivel estático menos profundo en caso de contar con más de un dato, se utilizaron para construir una piezometría, la cual corresponde a una representación gráfica de la elevación a la cual se encuentra el agua subterránea con respecto al nivel del mar. El agua subterránea escurre desde donde el agua se encuentra más alta hacia donde se encuentra más baja, de manera que a partir de esta información se puede inferir la dirección general de escurrimiento en el acuífero. Como resultado, el escurrimiento subterráneo sigue un patrón similar al escurrimiento de la red de drenaje superficial.

**FIGURA 3-9 Pozos de interés y con información utilizada para este estudio**

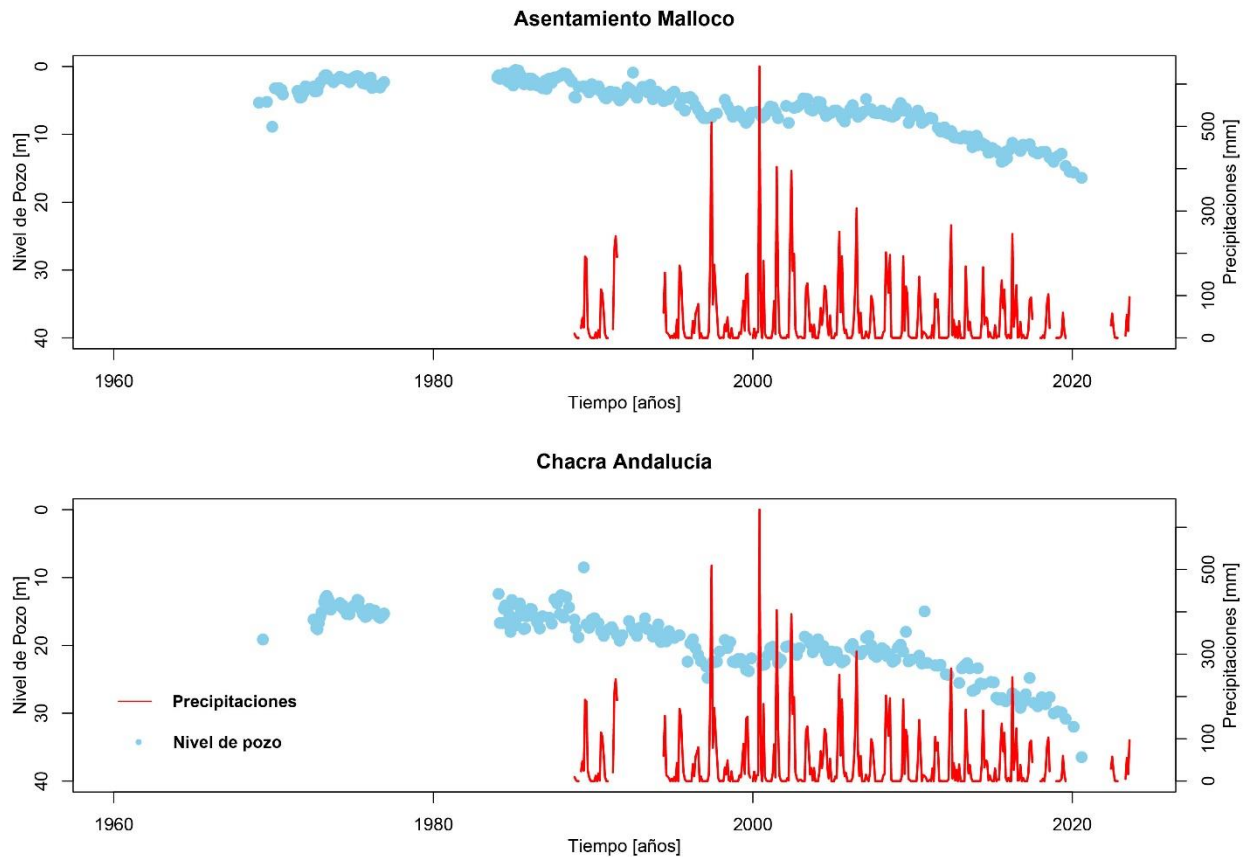


Fuente: Elaboración propia (2023) a partir de datos DGA.

Las series de tiempo de los niveles estáticos en los pozos estadísticos de la DGA muestran, en general, una tendencia a la profundización de este (FIGURA 3-10). Para el análisis de estos, se consideraron los datos de los pozos

Asentamiento Malloco y Chacra Andalucía debido a que su serie de tiempo es la más completa y representativa. En relación con sus niveles estáticos, se tiene una disminución de aproximadamente 15 y 25 m respectivamente.

**FIGURA 3-10: Serie de tiempo para niveles en pozos estadísticos de la DGA y de precipitaciones de la estación Fundo Marruecos.**



Fuente: Elaboración propia (2023) a partir de datos DGA.

Respecto a los expedientes de solicitud de derechos de agua de la DGA, en su mayoría contienen datos de finales de la primera década del siglo XXI que se distribuyen de manera relativamente homogénea en el área de estudio (FIGURA 3-9). Para los pozos que se encuentran al este del río Mapocho, el nivel se encuentra principalmente a más de 10 m de profundidad, alcanzando incluso profundidades de 30 m en el sector oriente de la comuna, el cual posee mayor densidad de población e instalaciones industriales. Por el contrario, aquellos pozos ubicados al oeste del río Mapocho poseen niveles piezométricos a menos de 4 m de profundidad, encontrando los niveles más superficiales en sectores como Santa Mónica, San Luis y Los Aromos.

## 4 INVENTARIO O CATASTRO DE AMENAZAS

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

A continuación, cada una de las amenazas mencionadas se detalla mediante listas o tablas resúmenes que recopilan los eventos catastrados.

### 4.1 SISMICIDAD.

Chile Central ha sido afectado por diversos eventos sísmicos y aquellos más significativos se han registrado y documentado en recopilaciones históricas como Urrutia & Lanza (1993), Petit-Breuilh (2004) y Sahady & Ferrada (2019). En particular la zona de Padre Hurtado ha sido testigo de los eventos mencionados a continuación.

- **Terremoto del 13 de mayo de 1647:** La ciudad de Santiago quedó prácticamente arruinada, se cayeron la mayoría de los edificios. Los efectos del terremoto abarcaron desde los ríos Limarí y Choapa por el norte y hasta Cauquenes y Maule por el sur.
- **Terremoto de 22 de julio de 1687:** De intensidad aproximada de VII. Su epicentro se ubica entre San Felipe y La Ligua, con latitud entre los 32° y 34° sur. Daños en convento en San Felipe y daños en Santiago.
- **Terremoto del 8 de julio de 1730 (M ≈ 8.9):** Es considerado uno de los mayores sismos que han afectado el territorio de Chile, con magnitud estimada entre 8.5 y 9. Produjo daños entre La Serena-Coquimbo y Chillán. Grandes daños en San Felipe, Tiltil y Renca. Y un maremoto que afectó la zona centro y sur de Chile.
- **Terremoto del 19 de noviembre de 1822:** Sismo que se sintió desde Illapel hasta Chiloé. Valparaíso y Quillota fueron afectados, falleciendo en la primera 66 personas. En Santiago no se registraron personas muertas.
- **Terremoto del 2 de abril de 1851:** Terremoto que causó daños de consideración en Valparaíso y Santiago, dejando una decena de muertos y varios heridos. Hacia el sur, hasta Angostura, casi no quedó nada en pie. Los altos ribazos del río Maipo se derrumbaron en varios puntos.
- **Terremoto del 7 de julio de 1873:** El terremoto afectó la zona central del país produciendo los mayores daños en Petorca, la Ligua y los alrededores. Daños menores en Santiago y Valparaíso.
- **Terremoto del 16 de agosto de 1906 (M=8.2):** El epicentro de este terremoto se ubicó entre Limache y Valparaíso. Hubo más de dos mil personas fallecidas. En Santiago se registraron daños de consideración. Hubo levantamientos de terreno en la costa.
- **Terremoto del 14 de abril de 1927:** Terremoto de intensidad IX. El epicentro fue entre los volcanes Tupungato y Aconcagua. Las zonas afectadas fueron Santiago, San Felipe, Los Andes, Mendoza. El sismo produjo grandes daños, pérdidas humanas y heridos.
- **Terremoto del 28 de marzo de 1965 (M=7.6):** El epicentro se encontró en la comuna de la Ligua. La profundidad del foco fue de 50 a 60 km. En Santiago murieron dos personas.
- **Terremoto del 8 de julio de 1971 (M =7.75):** Afectó principalmente las zonas de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago.
- **Terremoto del 3 de marzo de 1985 (M =7.7):** El movimiento se sintió desde la III y IX región. Con este terremoto hubo destrucción de viviendas que causaron víctimas fatales, destrucción de pavimentos, caída de puentes.
- **Terremoto del 14 de octubre de 1997 (Mw =7.1):** El sismo fue percibido desde Antofagasta hasta el Bío Bío. Y al menos 5.000 viviendas fueron destruidas en los alrededores de Punitaqui, donde fue el epicentro.
- **Terremoto del 27 de febrero del 2010 (Mw =8.8):** Sismo de gran magnitud acompañado de uno de los tsunamis más destructivos de Chile. Su percepción fue desde la ciudad de Calama hasta Puerto Montt. Los mayores daños se concentraron entre las regiones de Valparaíso y la Araucanía.
- **Terremoto del 16 de septiembre del 2015 (Mw =8.4):** Afectó en gran magnitud a las regiones de Coquimbo y Valparaíso debido al tsunami que lo acompañó. Sin embargo, logró ser percibido desde la región de Atacama hasta la región de la Araucanía.

## 4.2 INUNDACIONES TERRESTRES.

Las inundaciones terrestres son denominadas como tal debido a que ocurren "tierra adentro", es decir, el territorio interior de los continentes es anegado por aguas dulces. Dentro de estas inundaciones es posible encontrar:

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

En base a los antecedentes revisados, información disponible en prensa y redes sociales, y el catastro de "Puntos Críticos Programa Invierno 2023" de SENAPRED<sup>1</sup>, se reconocieron distintos sectores afectados por inundaciones. Dentro de la comuna, las zonas con catastro de desborde de cauce se encuentran, principalmente, aledañas al río Mapocho y canales de regadío en el sector urbano. No obstante, estos últimos, se consideraron como parte de los eventos de anegamiento, que se asocian generalmente con áreas localizadas en bajos topográficos o a fallas de los colectores de aguas lluvias.

En el CUADRO 4-1 se presenta el catastro elaborado a partir de los registros mencionados y en la FIGURA 4-1 se muestra su distribución espacial dentro de la comuna.

---

<sup>1</sup> <https://web.senapred.cl/puntos-criticos-programa-invierno/>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

**CUADRO 4-1: Catastro de inundaciones de la comuna de Padre Hurtado.**

Código	Fecha	UTM_E	UTM_N	Tipo de coordenada	Sector	Tipo evento	Desencadenante	Descripción	Referencia
A01	13-01-2013	332169	6282420	Polígono estimativo	Villas Los Jazmines y El Roble, calle Manuel Rojas	Anegamiento	Mal manejo de canal	Desborde de canal.	<a href="https://www.biobiochile.cl/noticias/2013/01/13/a-l-menos-20-familias-anegadas-deja-desborde-de-canal-en-padre-hurtado.shtml">https://www.biobiochile.cl/noticias/2013/01/13/a-l-menos-20-familias-anegadas-deja-desborde-de-canal-en-padre-hurtado.shtml</a>
-	jul-23	-	-	-	Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla), calle San Ignacio	Anegamiento	Precipitaciones	"En la comuna de entrada a nuestra Provincia el anegamiento es total y hoy representa una emergencia que Padre Hurtado no vivía hace más de una década. Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla) está colapsado debido a la gran cantidad de agua que viene desde Maipú. Colapso total en Camino San Ignacio, casas y locales comerciales anegados, la Municipalidad dispone de tres equipos en terreno enfrentando la emergencia."	<a href="https://noticiasdelsol.cl/balance-del-temporal-en-la-provincia-de-talagante/">https://noticiasdelsol.cl/balance-del-temporal-en-la-provincia-de-talagante/</a>
-	22-06-2023	-	-	-	Calles y sectores de la Ruta 78	Anegamiento	Precipitaciones	"Los principales inconvenientes se generan en la comuna de Padre Hurtado, y tienen relación con anegamientos de calles y sectores de la Ruta 78"	<a href="https://www.radioprensa.cl/delegada-provincial-de-talagante-realiza-balance-por-sistema-frontal-en-el-territorio/">https://www.radioprensa.cl/delegada-provincial-de-talagante-realiza-balance-por-sistema-frontal-en-el-territorio/</a>
A02	22-06-2023	331497	6284030	Polígono estimativo	Avda. José Luis Caro esquina Cam. A Melipilla	Anegamiento	Precipitaciones	"Cruce de Padre Hurtado completamente inundado transite con precaución y automovilistas circulen con respeto"	<a href="https://www.facebook.com/photo/?fbid=606595734907868&amp;set=pcb.606595801574528">https://www.facebook.com/photo/?fbid=606595734907868&amp;set=pcb.606595801574528</a>
A03	22-06-2023	331900	6282541	Punto exacto	Pasaje Santa Cruz equina Los Jesuitas	Anegamiento	Precipitaciones	Anegamiento en calle	<a href="https://www.facebook.com/photo?fbid=606550868245688&amp;set=pcb.606551064912335">https://www.facebook.com/photo?fbid=606550868245688&amp;set=pcb.606551064912335</a>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

Código	Fecha	UTM_E	UTM_N	Tipo de coordenada	Sector	Tipo evento	Desencadenante	Descripción	Referencia
A04	22-06-2023	331248	6283825	Punto exacto	Avda. San Ignacio esquina Cam. A Melipilla	Anegamiento	Precipitaciones	Anegamiento en calle	<a href="https://www.facebook.com/photo?fbid=606548364912605&amp;set=pcb.606548691579239">https://www.facebook.com/photo?fbid=606548364912605&amp;set=pcb.606548691579239</a>
-	12 al 14-6-2000	-	-	-	-	Anegamiento	Precipitaciones	"Comunas de Padre Hurtado y Peñaflor: Totalidad de canales desbordados"	<a href="https://reliefweb.int/report/chile/inundaciones-en-chile-reporte-de-estado-de-situaci%C3%B3n-12-jun-2000">https://reliefweb.int/report/chile/inundaciones-en-chile-reporte-de-estado-de-situaci%C3%B3n-12-jun-2000</a>
A05	-	6283710	331172	Aproximadas al sector	Villa Juan Wesley	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A06	-	6282950	332393	Aproximadas al sector	Rio Aconcagua con Los Jesuitas	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A07	-	6284310	334040	Aproximadas al sector	Calle Los Paltos con Pasaje Tres	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A08	-	6284150	331443	Aproximadas al sector	Cruce Padre Hurtado	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A09	-	6285140	330590	Aproximadas al sector	Los Maitenes	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A10	-	6283950	332375	Aproximadas al sector	El Manzano / Primer Transversal	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A11	-	6282390	332217	Aproximadas al sector	Av. San Ignacio con calle el roble	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A12	-	6282820	331466	Aproximadas al sector	Triunfo de Chile con Campo de Deportes	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A13	-	6284290	332648	Aproximadas al sector	Luis Pasteur con Sebastián Bach	Anegamiento	Precipitaciones	Desborde de canal.	SENAPRED (2023)
A14	-	6282910	330165	Aproximadas al sector	Villa Las Hortensias	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A15	-	6282720	332118	Aproximadas al sector		Anegamiento	Precipitaciones	Desborde de canal.	SENAPRED (2023)
A16	-	6284810	330874	Aproximadas al sector	Los Claveles, Villa Centenario	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A17	-	6283160	331832	Aproximadas al sector	Villa Padre Hurtado 2	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)

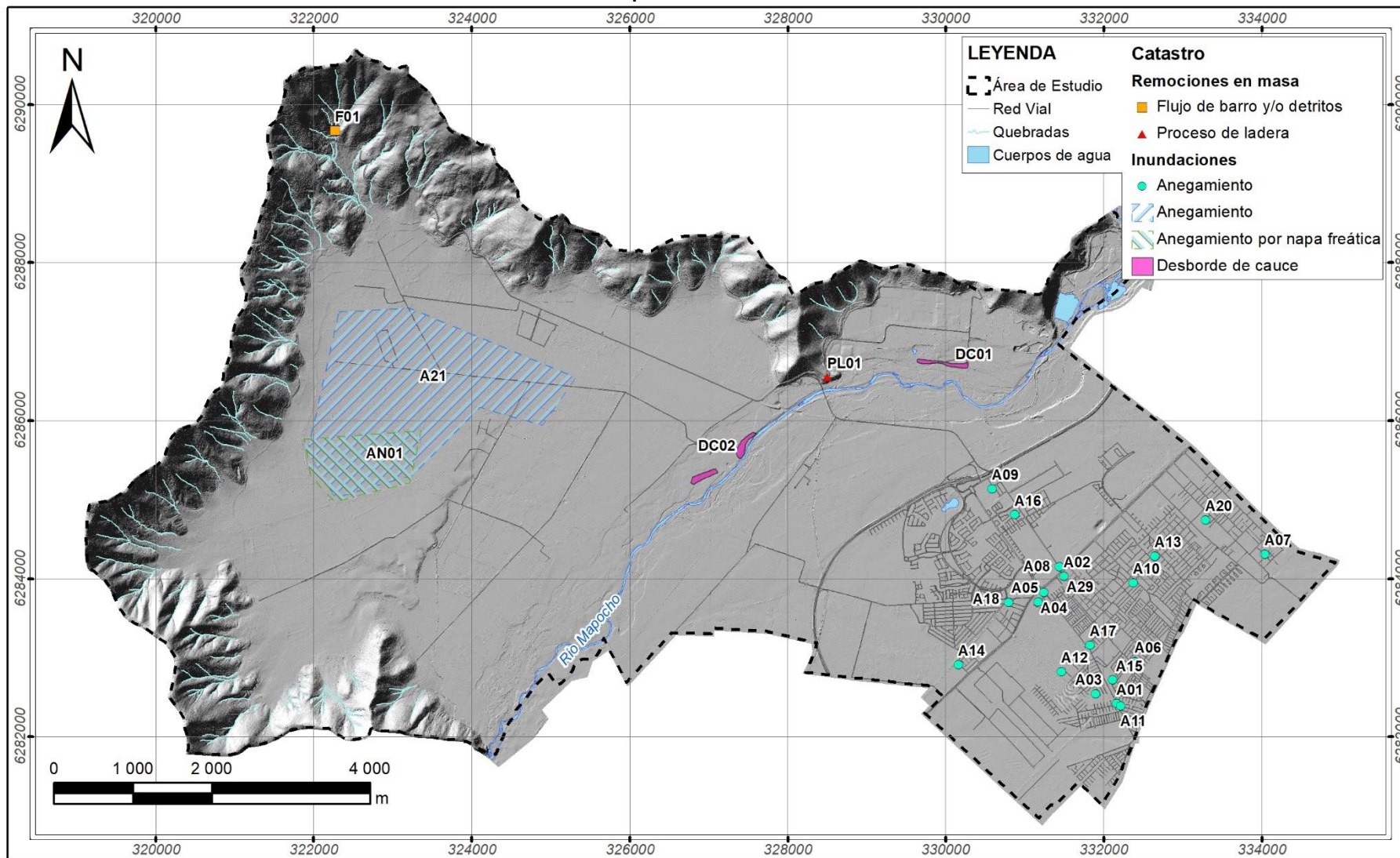
PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

Código	Fecha	UTM_E	UTM_N	Tipo de coordenada	Sector	Tipo evento	Desencadenante	Descripción	Referencia
A18	-	6283700	330801	Aproximadas al sector	Calle La Cruz	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A19	-	6284040	331538	Aproximadas al sector	Cruce Padre Hurtado	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
A20	-	6284740	333290	Aproximadas al sector	Plaza Santa Rosa	Anegamiento	Precipitaciones		SENAPRED (2023)
-	-	-	-	-	San Ignacio	Anegamiento	Precipitaciones	"Cada año se ven afectadas cerca de 200-300 casas"	IMPH (2022)
A21	década de 1980	6286340	3232266	Aproximadas al sector	Santa Mónica	Anegamiento	Precipitaciones	Anegamiento por acumulación de aguas lluvias.	Registro fotográfico gentileza de Luis Veliz.
-	29-6-2020				Santa Mónica	Anegamiento	Precipitaciones	"Santa Mónica sin ayuda inundado completamente. Muchas casas mojadas completas y la municipalidad dice no tener recursos"	Comentario de Anita Calderón en "Red Comunal Emergencia Padre Hurtado". <a href="https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10218503847776333&amp;set=p.10218503847776333&amp;type=3">https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10218503847776333&amp;set=p.10218503847776333&amp;type=3</a>
-	Invierno 2023				Santa Mónica, San Luis, La Esperanza	Anegamiento	Precipitaciones	"Anegamiento de más de 30 casas en Santa Mónica". "Sectores de San Luis, La Esperanza, que se vieron inundados con espejo de agua en el invierno de este año"	Entrevista Luis Véliz y Alejandro Vega.
AN01	8-11-2023			Aproximada al sector	Santa Mónica	Anegamiento por napa	Precipitaciones y recarga del acuífero	Observación de terreno: predio de pradera para pastoreo con posas de agua y sectores de vegas. En ortofoto e imágenes satelitales se evidencian las áreas de afloramiento de agua subterránea.	Este estudio (2023)

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

Código	Fecha	UTM_E	UTM_N	Tipo de coordenada	Sector	Tipo evento	Desencadenante	Descripción	Referencia
DC01	-	6286700	330128	Aproximada al sector	El Trebal	Desborde de cauce	Precipitaciones	"En la ribera del río de esta localidad funcionó una extracción de áridos, la cual modificó la morfología del cauce, debilitando la ribera y generando las condiciones de riesgo. Como consecuencia de esto se ha generado un nuevo brazo del río cuya dirección está muy cerca de las viviendas y que además sigue erosionando el terreno"	MOP-DOH (2008)
DC02	-	6285640	327414	Aproximada al sector	Esperanza	Desborde de cauce	Precipitaciones	Esta localidad se ubica en la ribera izquierda del río Mapocho, aguas abajo del puente Esperanza. El área específica donde existen viviendas vulnerables frente a las crecidas del río se localiza desde Las Brisas a Los Álamos	MOP-DOH (2008)

FIGURA 4-1: Mapa de catastro de Padre Hurtado.



Fuente: Elaboración propia (2023)

### 4.3 REMOCIONES EN MASA.

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

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

En base a la información recopilada en bibliografía, en entrevistas con la Unidad de Emergencias y Gestión del Riesgo de Desastres de la municipalidad y el lugareño don Luis Véliz, se reconocieron un par de puntos afectados por remociones en masa, principalmente, que se encuentran cercanas a cauces de quebradas y laderas.

En la CUADRO 4-2 se presenta el catastro elaborado a partir de los registros mencionados y en la FIGURA 4-1 se muestra su distribución espacial dentro de la comuna.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

**CUADRO 4-2: Catastro de remociones en masa de la comuna de Padre Hurtado.**

Código	Fecha	UTM_E	UTM_N	Tipo de coordenada	Sector	Tipo evento	Desencadenante	Descripción	Referencia
-	06-08-2015	-	-	-	Cuesta Barriga	Caída de rocas	Precipitaciones	"Caídas de roca en la cuesta Barriga (ruta G-68), comuna de Padre Hurtado"	SERNAGEOMIN (2015)
PL01		328505	6286548	Aproximadas al sector	Camino al Trebal	Caída de rocas		"Caídas de rocas en el camino al Trebal"	Reunión Encargado de Emergencias
F01	Década de 1980	322270	6289668	Aproximadas al sector	Camino a la mina	Flujo de barro y/o detritos	Precipitaciones	"Aluvión cortó el camino a la mina"	Entrevista Luis Véliz

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## 5 DIAGNÓSTICO

### 5.1 SISMICIDAD.

El contexto geodinámico de subducción, dado por la convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana, posiciona al territorio chileno sobre un borde tectónicamente activo que ha caracterizado la historia sísmica del país. El fenómeno de convergencia de placas oceánica y continental produce un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto interplaca, lo que genera acumulación de energía elástica que posteriormente es liberada provocando grandes terremotos. Los sismos presentan una clara distribución espacial, donde existe una banda sísmica angosta (100-150 km de ancho) y profundidad variable (5-150 km de profundidad) entre la fosa Perú-Chile, al oeste, y la Cordillera de los Andes al este.

#### 5.1.1 Tipos de sismos.

Existen cuatro tipos de sismos de origen tectónico que afectan el territorio chileno, los cuales se distribuyen espacialmente segregándose en franjas paralelas de orientación aproximada NS. Estas fuentes sismogénicas, de oeste a este, son: *outer-rise*; interplaca tipo *thrust*; intraplaca de profundidad intermedia; y corticales (Apéndice 10.2 Descripción de los peligros geológicos analizados).

En el área de estudio, el contacto entre las placas se extiende desde la fosa hasta unos 35-51 km de profundidad (Tichelaar & Ruff, 1993; Hayes, Wald, & Johnson, 2012), y es en esta región es donde tienen lugar la mayoría de los terremotos que han ocurrido en la zona central del país. Entre este tipo de terremotos destacan: 1575, 1730, 1822, 1906 y 1985, cuyos largos de ruptura se ilustran de manera esquemática en la FIGURA 5-1. Adicionalmente, el área de estudio ha sido afectada por sismos intraplaca de profundidad intermedia, destacando el Terremoto de La Ligua de 1965.

Antes de 1960, el registro de los sismos no poseía la precisión de los sismómetros modernos, por lo tanto, no existe información exacta para determinar las características de los terremotos previos a esa fecha. Así, las rupturas de los terremotos anteriores son estimaciones, a partir de datos históricos y la intensidad de los daños provocados, según la metodología propuesta por Kausse & Ramírez (1992). En el CUADRO 5-1 se muestran seis sismos históricos que se generaron en lugares cercanos y provocaron daños importantes en una extensión que incluye el área de estudio.

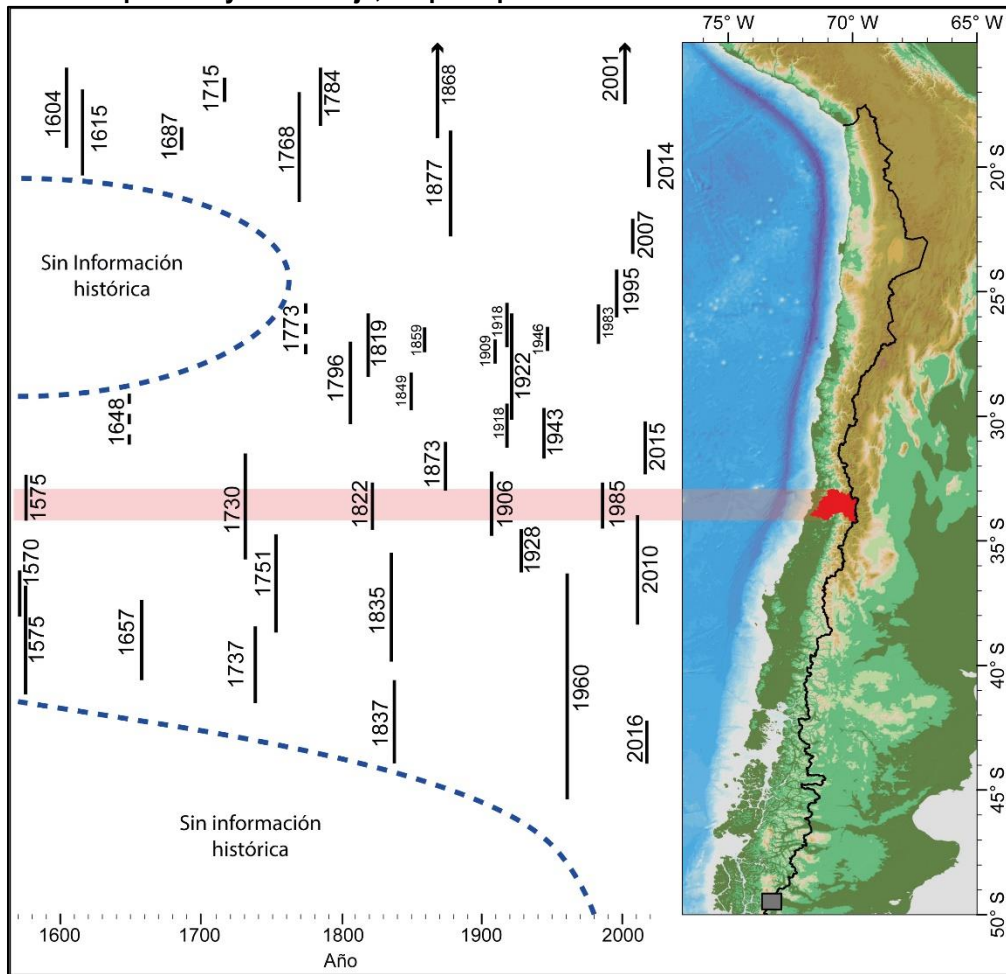
**CUADRO 5-1: Terremotos históricos (magnitud superior a 7.0) cuya zona de ruptura coincide con el área.**

Año	Mes	Día	Latitud (°)	Longitud (°)	Profundidad (km)	Magnitud Aprox
1575	03	17	-33,40	-70.06	-	7.5
1730	07	07	-33.05	-71.63	-	8.9
1822	11	19	-33.05	-71.60	-	8.4
1906	08	16	-33.00	-72.00-	25	8.4
1965	03	28	-32.42	-71.17	68	7.4
1985	03	03	-32.24	-71.85	33	7.7

Fuente: Elaboración propia en base a Kausse & Ramírez (1992).

Exceptuando el terremoto de 1965, que corresponde a un terremoto intraplaca de profundidad intermedia, los cinco sismos restantes citados en el CUADRO 5-1 corresponden a los denominados terremotos de subducción o interplaca tipo *thrust* por la ubicación de su fuente sísmica. Utilizando el registro de la red sismológica internacional es posible visualizar la ocurrencia y distribución de las cuatro fuentes que se describen a continuación.

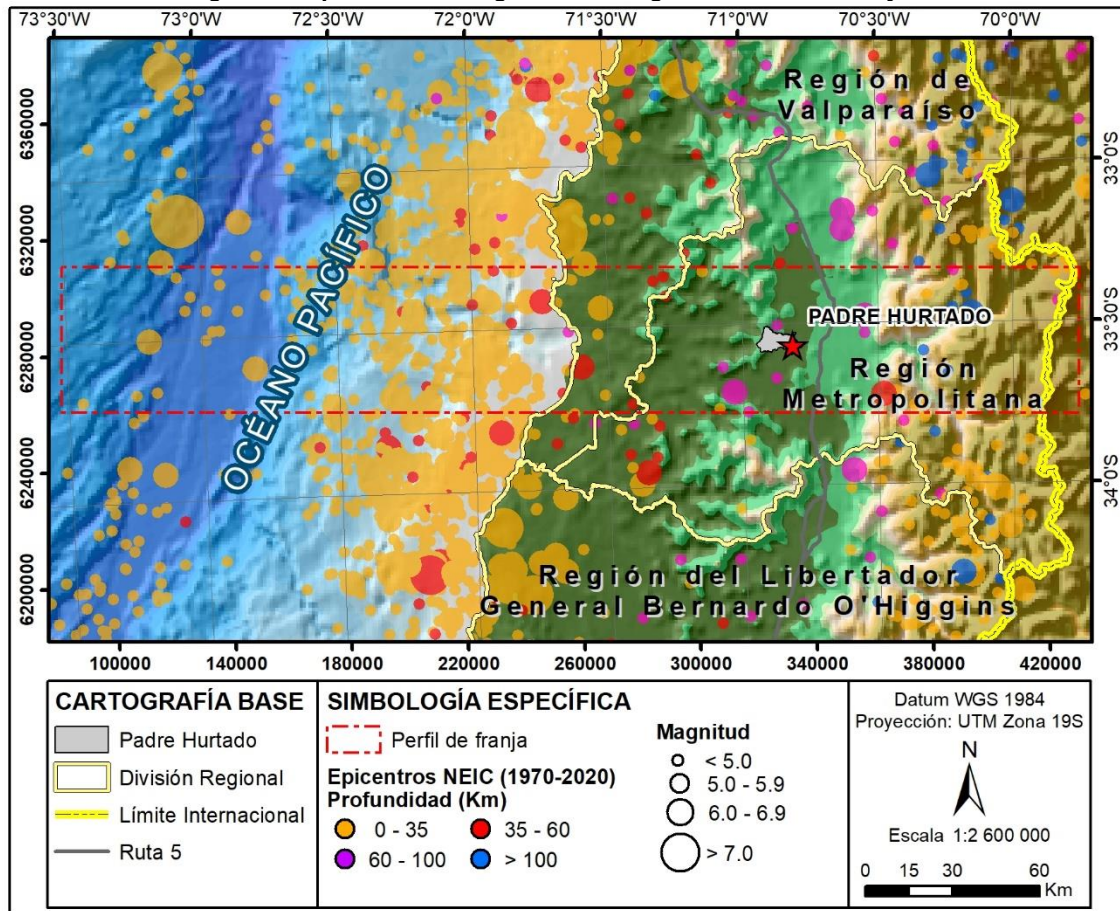
**FIGURA 5-1: Representación gráfica de los terremotos de subducción históricos con magnitud estimada superior a 7.2 y sus respectivos largos de ruptura (abajo, escala en años). En color rojo se resalta la región Metropolitana y en la franja, los principales terremotos ocurridos frente a ella.**



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la FIGURA 5-2 se pueden observar cuatro franjas subparalelas de orientación aproximada norte-sur, donde se concentran sismos con hipocentros a diferentes profundidades. En el océano, al extremo oeste de la figura, se emplazan los sismos con fuente *outer-rise*. En la costa, donde hay una mayor concentración de puntos, se ubican los sismos con fuente interplaca tipo *thrust*. Luego, continente adentro, donde se desarrolla la Depresión Central y la Cordillera Principal, la fuente sísmica que denomina es interplaca de profundidad intermedia. Adicionalmente, en la zona cordillerana, de forma mucho más dispersa y generalmente de baja magnitud, se generan sismos someros de fuente cortical. Los sismos *outer-rise*, interplaca tipo *thrust*, intraplaca de profundidad intermedia y corticales son claramente distinguibles a lo largo una franja oeste-este, de 50 x 350 km<sup>2</sup>, que incluye el área de estudio FIGURA 5-3. Las observaciones que se pueden realizar en la franja espacial entre los 33° y 34°30'S son las siguientes.

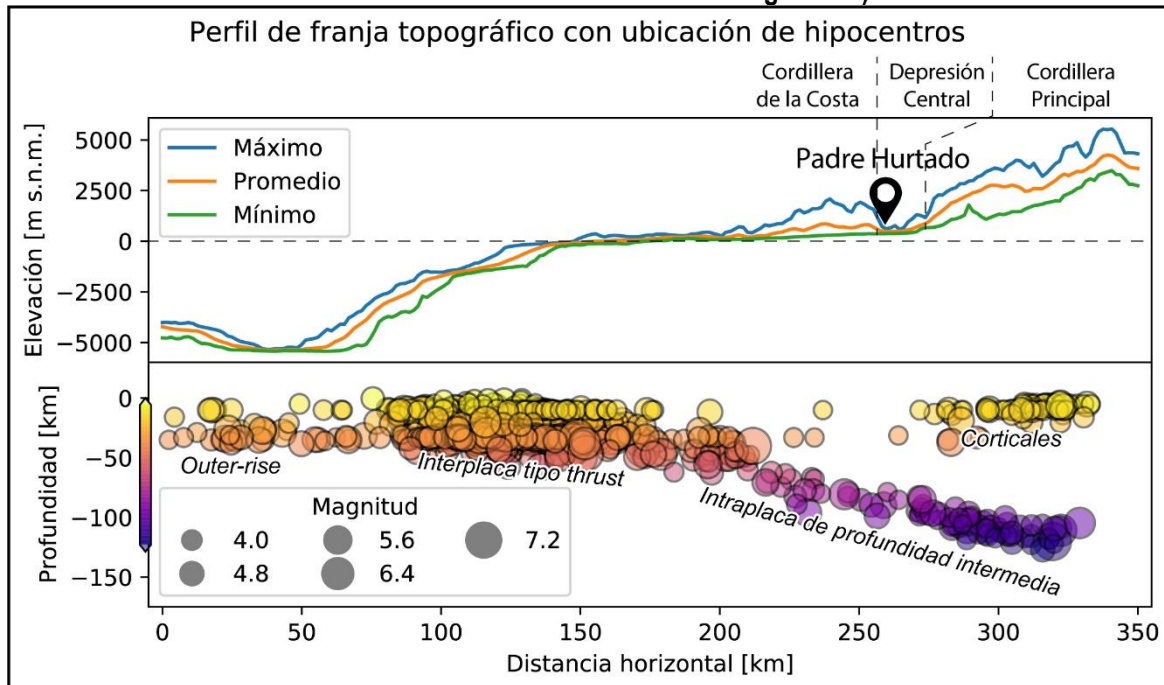
FIGURA 5-2: Mapa regional del contexto del área de estudio con los epicentros de la sismicidad registrada de magnitud superior a 4.0, según el Catálogo NEIC, entre 1970 y 2022.



Fuente: Elaboración propia (2023) a partir del Catálogo NEIC.

1. La mayor concentración de sismicidad en el periodo registrado por el catálogo NEIC se dispone en la línea paralela a la costa y gran parte de estos sismos tienen su hipocentro a menos de 35 km de profundidad. Son estos terremotos los que se generan en el contacto de las placas de Nazca y Sudamericana, es decir, corresponden a sismos interplaca tipo *thrust*. El ejemplo cercano más reciente de este tipo de sismos es el terremoto del 3 de marzo de 1985, que tuvo una magnitud de 7.8 Mw y su hipocentro estuvo localizado a 33 km de profundidad.
2. En la zona central, principalmente bajo la Depresión Central, existe una menor densidad de sismos y los que ocurren a profundidades hipocentrales que aumentan de oeste a este desde 60 a más de 100 km. Estos sismos corresponden a la fuente denominada intraplaca de profundidad intermedia. Dentro de esta categoría destaca el Terremoto de La Ligua de 1965, que tuvo una magnitud de 7.4 Mw y cuyo hipocentro se localizó a 68 km de profundidad.
3. En el ámbito de la cordillera de los Andes tiene lugar la sismicidad de tipo cortical que, aunque mucho más escasa y dispersa que las otras fuentes, se asocian con la deformación actual del macizo montañoso. Un ejemplo de este tipo de sismos es el Terremoto de las Melosas del 4 de septiembre de 1958, que consistió en una seguidilla de tres sismos con magnitudes cercanas a 7.0 que sacudieron el área del Cajón del Maipo en la Región Metropolitana. Sin embargo, tanto en la comuna de Padre Hurtado como en sus alrededores más próximos no existen fallas con actividad que puedan afectar al territorio. La única falla cortical activa reconocida, pero que está a más de 22 km al este de la comuna, es la Falla San Ramón (Vargas, y otros, 2014; Maldonado, Contreras, & Melnick, 2021).

**FIGURA 5-3: Perfil de franja topográfica sobre localización de hipocentros sísmicos a lo largo de una franja de 50 km de ancho por 350 km de largo demarcada con rectángulo punteado en la FIGURA 5-2. (Notar diferencia en escala vertical de ambos gráficos).**



Fuente: Elaboración propia (2023).

En resumen, el área de estudio se encuentra expuesta a la ocurrencia de tres tipos sísmicos principales: (1) interplaca tipo *thrust* y (2) intraplaca de profundidad intermedia. La gran mayoría de estos sísmos, especialmente los de mayor magnitud, son detectables por medio de la instrumentación fija instalada, tanto por la Red Sismológica Nacional, así como por otras redes sismológicas internacionales.

Las fuentes sísmicas descritas con anterioridad generan terremotos que afectan al territorio a una escala regional. En particular, los sísmos interplaca que corresponden a los que ocurren con mayor frecuencia y magnitud y se encuentran considerados en la Norma Chilena de la Construcción (NCh433). Respecto a los sísmos intraplaca de profundidad intermedia no se tiene suficiente información debido a que son escasos y, por ende, en el marco de este estudio a escala de detalle esta amenaza tampoco es zonificable.

En conclusión, el área de estudio se encuentra expuesta a la amenaza sísmica de dos fuentes sismogénicas. Sin embargo, la escala en la cual varían las intensidades y efectos en el territorio que se planificará no permite que la amenaza pueda zonificarse a una escala de detalle de 1:2.000 que corresponde a la escala urbana.

## 5.2 INUNDACIONES TERRESTRES.

### 5.2.1 Inundación por desborde de cauce.

Los antecedentes contenidos en el catastro, las características geológicas y geomorfológicas de la comuna de Padre Hurtado señalan que el principal cauce es el río Mapocho. Su cauce, así como sus niveles de terrazas ribereñas corresponden a zonas inundables o potencialmente inundables por desborde de cauce, con distinta frecuencia y magnitud.

El río Mapocho es el segundo cauce más importante en la región Metropolitana debido a la cantidad de agua que se encausa en él. En la comuna de Padre Hurtado, su desarrollo y evolución ha configurado distintas terrazas amplias y con distintos niveles respecto a su lecho. Esto ha dado el espacio suficiente para construir viviendas, cultivos, e industrias relacionadas a la extracción de áridos que intervienen la geomorfología natural del río y sus terrazas.

Además, existen obras civiles como puentes vehiculares y peatonales que permiten el tránsito sobre el río Mapocho pero que, cuyas zapatas, generan un estrechamiento en el cauce de este (FIGURA 5-4). Pudiendo alterar el libre escurrimiento del agua encauzada y aumentando así el potencial de desbordamiento aguas arriba de ellos.

**FIGURA 5-4: Sector de puente La Esperanza donde se observan ambos puentes cruzando el río Mapocho.**



Fuente: Registro de terreno (2023).

Por otro lado, existen cauces artificiales insertos en las zonas urbanas que se relacionan a canales de regadío de las antiguas parcelaciones de las que Padre Hurtado ha ido expandiéndose. A pesar de que son canales artificiales, se consideran como potenciales fuentes de inundaciones por desborde de cauce.

Finalmente, con respecto a los factores desencadenantes, la ocurrencia de lluvias intensas o lluvias de varios días de duración corresponden al principal detonante natural que puede activar los cauces sin escorrentía permanente, o aumentar el caudal normal de los cauces activos. Tal como lo evidencia el catastro, estos eventos de precipitación excepcional pueden generar desbordes que afecten el área. Adicionalmente, los bloqueos, rupturas o problemas en la mantención de las canalizaciones y puentes, podría generar también el colapso, y como consecuencia, inundaciones de los sectores aledaños.

### 5.2.2 Inundación por anegamiento.

En base a la información catastrada de diversas fuentes se constata que la comuna de Padre Hurtado posee diversos sectores propensos a anegarse debido a la presencia de extensas planicies de baja pendiente y que, ocasionalmente, pueden configurar depresiones semiconfinadas de mal drenaje y/o baja capacidad de infiltración.

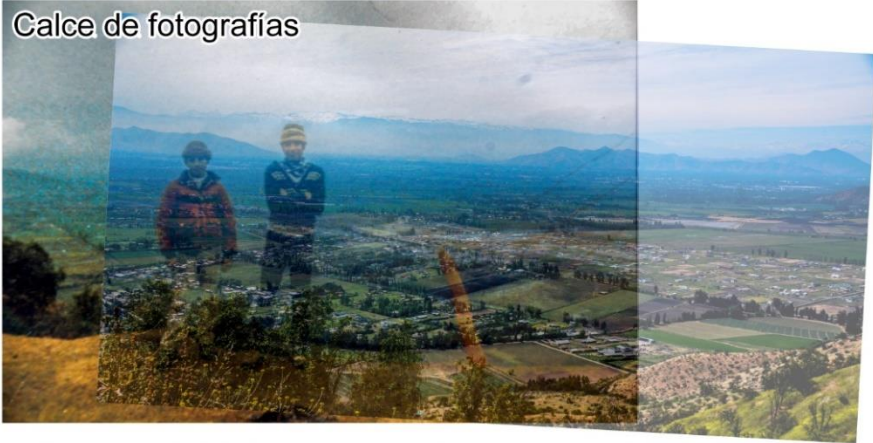
Por un lado, destaca el sector de Santa Mónica-San Luis, donde existe evidencia fotográfica de un evento de anegamiento de amplia extensión durante inviernos lluviosos de la década de 1980 (FIGURA 5-5), así como el relato de anegamientos de casas en los inviernos del 2020 (FIGURA 5-6) y 2023. A diferencia de lo ocurrido en la década de 1980, donde la mayor parte del área correspondía a predios de uso agrícola, en la actualidad los anegamientos afectan numerosas parcelas de uso habitacional. El cambio de uso suelo, así como la disminución de la precipitación durante más de una década (megasequía) ha propiciado la mala mantención de la red de canales que drenan el área y, por lo tanto, menor efectividad de la evacuación del agua (Luis Véliz, comunicación personal).

Por su parte, la expansión de la ciudad de Padre Hurtado ocupando antiguos predios agrícolas, ha propiciado que dentro de la ciudad se preserven canales de regadío importantes, donde algunos separan distintos niveles de una topografía escalonada (FIGURA 5-6 y FIGURA 5-7).

Estos canales sirven como medios de evacuación de las aguas lluvias, sin embargo, en ocasiones se ven superados generando desbordes dentro de la ciudad. Adicional al agua lluvia captada en Padre Hurtado, a través de la Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla) es conducida agua adicional proveniente desde la comuna de Maipú, lo que pondera los anegamientos a lo largo de esta ruta. Estos distintos elementos, sumados a los problemas de captación/mantenimiento o inexistencia de sistemas de drenaje de aguas lluvia, provocan el anegamiento de diversas avenidas, calles/pasajes y pasos bajo nivel en diferentes puntos de la comuna. Además del Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla), destacan la Avda. San Ignacio (con Los Jesuitas, El Roble). Dado que la ocurrencia de estos anegamientos posee un origen antrópico, no han sido considerados para la zonificación de la amenaza.

En resumen, la amenaza de inundación por anegamiento en la comuna posee factores condicionantes naturales, que en algunas áreas se ven potenciadas por las modificaciones antrópicas del territorio. El factor desencadenante principal de los anegamientos es la ocurrencia de eventos de precipitación intensas o de larga duración.

FIGURA 5-5: Registro fotográfico de áreas anegadas en el sector de Santa Mónica – San Luis visto desde la cima de la Cuesta Barriga (comparativa década 1980 y año 2023).



Fuente: Registro fotográfico de terreno (2023). Fotografía antigua, gentileza Luis Véliz.

**FIGURA 5-6: Anegamiento en el sector de Santa Mónica (invierno año 2020).**



Fuente: Anita Calderón, Facebook (2023).

**FIGURA 5-7: Canal de regadío a mayor altura que sector de casas al sureste, calle Los Jesuitas, sector de San Ignacio.**



Fuente: Registro fotográfico de terreno (2023).

### 5.2.3 Inundación por napa freática.

El Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), en el artículo 8.2.1.1, letra a.2 señala que, en los territorios de la comuna de Padre Hurtado, al igual que en otras 11 comunas de la Región Metropolitana, “existe el riesgo de afloramiento de aguas subterráneas debido a la escasa profundidad que se encuentra el nivel freático bajo la superficie del terreno”. Los niveles catastrados para los pozos de la comuna, cuyos niveles se mencionan en la línea de base, confirman lo anterior.

Además, el PRMS señala que en estas áreas se presentan mayoritariamente suelos con una alta permeabilidad, de manera que los suelos se exponen a una alta vulnerabilidad de contaminación de las aguas subterráneas. Se señala también que estas áreas cumplen la función de recarga del sistema de reservas subterráneas de agua.

Con respecto a esto último, el artículo 2.1.17 de la OGUC define que las “las áreas restringidas al desarrollo urbano lo son por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos”. Pese a que la OGUC no busca proteger los acuíferos, el PRMS define regulaciones específicas destinadas a ello.

A partir de lo descrito en los párrafos anteriores, el PRMS define una serie de medidas que deben cumplirse en la comuna de Padre Hurtado, que tienen por objetivo evitar que las construcciones sean afectadas por un eventual afloramiento de la napa subterránea y, además, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

Según la información obtenida por los niveles medidos en los pozos ubicados en la comuna, se tiene que el agua subterránea está a profundidades superiores a 10 m hacia los sectores urbanizados al este del río Mapocho, a

excepción del sector sureste de dicho cauce, cercano al límite comunal con la comuna de Peñaflor, donde los niveles están a menos de 5 m de profundidad. Por otro lado, hacia el sector oeste del río Mapocho, estos niveles se hacen aún más someros alcanzando profundidades incluso menores a 1 m.

El mapa geológico reconoce que en la parte occidental de la comuna se encuentra una zona de depósitos palustres. Además, según relato hablado de un habitante de la comuna (Luis Véliz), el sector San Luis no es viable para el cultivo producto de las condiciones del suelo. Sumado a esto, como parte de la memoria para optar al título de geólogo elaborada por Vargas (2022) se construyeron calicatas en este sector, y estas se llenaron de agua inmediatamente. Los anteriores son indicadores del carácter pantanoso del sector, que se insinúa en las imágenes satelitales.

Las condiciones descritas en el párrafo precedente muestran que el sector San Luis presenta condiciones hidrogeológicas muy complejas, en cuanto a que el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie, lo que, incluso, tiene efectos muy relevantes en la capacidad de drenaje y en las características geotécnicas de los suelos del sector.

Una condición que se debe considerar respecto a la napa freática es la posibilidad de que, bajo la superficie, se encuentren niveles horizontales de sedimentos finos, de baja permeabilidad, que favorezcan el desarrollo local de acuíferos colgados. Es posible que estos niveles favorezcan el afloramiento de agua en sectores específicos, especialmente al oeste del río Mapocho, en los sectores donde el terreno tiene una cota similar al río Mapocho.

### **5.3 REMOCIONES EN MASA.**

#### **5.3.1 Flujos de barro y/o detritos.**

A partir de la recopilación de catastro, el mapeo de la geología/geomorfología y observaciones de terreno, se interpreta que los flujos de barro y/o detritos no son una amenaza frecuente en la comuna. Si bien muchas quebradas y abanicos aluviales hacia el sector occidental de la comuna han permanecido deshabitados y, por lo tanto, podría no existir registro de eventos de flujos a raíz de ello, la evidencia geológica/geomorfológica sugiere que las quebradas no generarían flujos con frecuencia y, en caso de generarlos, estos serían de baja magnitud.

Aunque existen incisiones de cauces profundos y bien definidos en el área montañosa, una vez alcanzados los abanicos aluviales coalescentes al pie de las laderas, la definición de estos cauces/cárcavas se vuelve difusa a inexistente. Una baja frecuencia de ocurrencia de flujos, así como su bajo impacto, son concordantes con las cuencas de drenaje pequeñas y con baja área de captación que caracterizan el relieve montañoso de Padre Hurtado. En el área estudiada solo se cuenta con el antecedente de un flujo ocurrido en la cuenca de la quebrada La Mina, que afectó la ruta de la Cuesta Barriga durante algún evento de precipitación importante en la década de 1980 (CUADRO 4-2).

Recientemente, el loteo de predios para construcción de viviendas en abanicos aluviales y laderas al pie del cordón montañoso occidental de Padre Hurtado, especialmente hacia el sector de Los Corrales (FIGURA 5-8), ha propiciado la construcción de diversas obras (caminos, cortes de talud y terraplenes). Por un lado, las intervenciones de laderas (cortes de caminos o para edificaciones) por regla general desestabilizan los macizos rocosos o su cobertura de suelo, lo cual podría facilitar la generación de deslizamientos de tierra/roca durante lluvias, impulsando así la ocurrencia de algún flujo. Adicionalmente, los rellenos de material suelto, especialmente aquellos que bloquean (total o parcialmente mediante tubos) cauces naturales de quebradas, pueden generar acumulación de agua y ceder durante eventos de precipitación que generen escorrentía superficial, generando de esta forma, flujos. Además, en caso de ocurrir flujos naturales, los materiales sueltos añadidos en los cauces serían fácilmente incorporados al proceso.

En resumen, la amenaza de flujos de barro y/o detritos en la comuna posee factores condicionantes naturales que, en algunas áreas, podría verse potenciado por las modificaciones antrópicas del territorio. El factor desencadenante principal de los flujos de barro y/detritos estaría dado por la ocurrencia de eventos de precipitación intensas o de larga duración.

**FIGURA 5-8: Panorámica de laderas, quebradas y abanicos aluviales en el sector de Los Corrales.**



Fuente: Modificado de Google Earth Pro (2023).

### 5.3.2 Procesos de ladera

Para efectuar un diagnóstico de la ocurrencia de procesos de ladera en la comuna de Padre Hurtado se requiere identificar los factores condicionantes (características inherentes al territorio), y los factores desencadenantes (que permiten que finalmente los procesos ocurran). La combinación de estos factores en el pasado ha quedado evidenciada por el catastro y la geología de la comuna.

La mayoría de los eventos de procesos de ladera se concentran hacia los sectores con relieves más accidentados, es decir, aquellos donde hay altas pendientes y existencia de desnivel. Para el caso de caídas de roca, se asocia además a la presencia de afloramientos de roca con discontinuidades bajo condiciones de inestabilidad.

Entre los factores condicionantes se diferencian aquellos que determinan la probabilidad de ocurrencia de los que controlan el nivel de daño generado. Entre los primeros, se considera la orientación y la frecuencia de las discontinuidades y la pendiente del talud, mientras que, en el segundo grupo, se encuentra el tamaño de los bloques que caen y la distancia recorrida por estos.

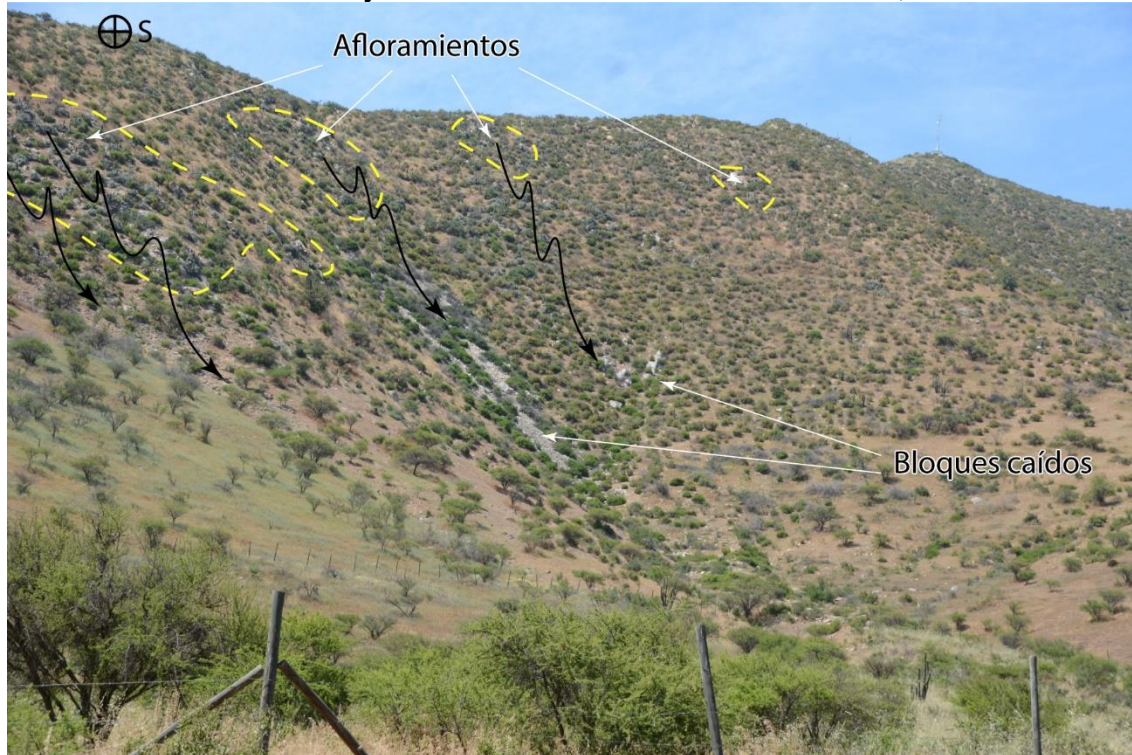
Estas características y su descripción requieren un análisis de caracterización geotécnica de las unidades geológicas de la comuna, pero debido a la escala de trabajo no es posible un análisis exhaustivo. Sin embargo, los factores condicionantes que sí pueden considerarse tomando los insumos disponibles a la escala de trabajo son la existencia de afloramientos de roca entregados por el mapa geológico, y las pendientes, que se obtienen a partir del análisis morfométrico del modelo digital de terreno.

En general, a mayor pendiente y a mayor altura del afloramiento rocoso, las laderas presentan una mayor tendencia a la inestabilidad (y, por tanto, a la generación de desprendimientos de bloques) y a alcanzar mayores distancias de viaje (mayor alcance).

De acuerdo con la información recopilada para la elaboración del catastro y los antecedentes geológicos, se reconoce que esta amenaza existe principalmente asociada al cordón montañoso de la Cordillera de la Costa que limita la comuna por el oeste. En particular, las caídas catastradas se encuentran asociadas, principalmente, a taludes de corte en la ruta 68 en la Cuesta Barriga o la ruta G-260 hacia el sector de El Trebal. En cuanto a la presencia de afloramiento de roca en los cerros de la comuna, estos son más bien escasos, ya que las laderas presentan generalmente una

cobertura de regolito/suelo. A pesar de ello, en diversos sectores del área montañosa es posible reconocer zonas de acumulación caídas de rocas (acarreos) o bloques caídos dispersos.

**FIGURA 5-9: Zona de afloramientos y caídas de rocas en laderas del cerro Buitrera, al suroeste de la comuna.**



Fuente: Registro de terreno (2023).

En cuanto a los deslizamientos, su ocurrencia está dada por las propiedades geotécnicas del material, así como por sus características geológicas y la geomorfología del entorno, siendo principalmente subdivididos en rotacionales y traslacionales. Esto implica que sus superficies de ruptura pueden ser curvas y cóncavas, o más bien ocurrir a lo largo de un plano, respectivamente. Los deslizamientos dependen de 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. Según Hungr et al. (2005) y Qarinur (2015), generalmente el alcance de los deslizamientos es fuertemente controlado por la altura desde donde se genera el movimiento: a mayor desnivel, mayor será la posibilidad de alcanzar mayores distancias.

Si bien en la comuna de Padre Hurtado no existe catastro histórico de eventos de deslizamiento, en el mapeo geológico-geomorfológico se reconocieron algunos depósitos de deslizamientos antiguos, del Pleistoceno-Holoceno<sup>22</sup>, que aún conservan parte de su morfología característica, como es la cicatriz o escarpe.

En resumen, la amenaza de procesos de ladera en la comuna posee factores condicionantes naturales y antrópicos. Los factores desencadenantes principales de caídas y deslizamientos estarían dados por la ocurrencia de eventos de precipitación intensa o de larga duración, así como eventos sísmicos de intensidad moderada a fuerte.

<sup>22</sup> Edad geológica, en este caso Holoceno, seguida de signo de interrogación es una notación usada en geología para indicar que existe un cierto grado de incerteza en cuanto a la asignación de dicha edad. Es decir, lo más probable es que la edad de los depósitos mencionados sea pleistocena, no obstante podrían extenderse incluso hasta el Holoceno.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## 6 ZONIFICACIÓN

### 6.1 DEFINICIÓN DE METODOLOGÍAS.

#### 6.1.1 Inundaciones terrestres.

##### 6.1.1.1 *Inundación por desborde de cauce.*

Para la zonificación de inundación por desborde de cauce se utilizaron criterios geomorfológicos, curvas de nivel y el análisis del Modelo de Elevación Digital proporcionado para este estudio a través de la metodología de Olson y otros (2014), la cual requiere como entrada el DEM, una polilínea con el cauce y un set de polilíneas perpendiculares al cauce con un largo que permita el corte transversal de las unidades geomorfológicas aledañas al cauce. A través de estos insumos, el algoritmo de la herramienta permite modificar las elevaciones del DEM de manera que se obtiene un nuevo modelo de elevación relativo al cauce establecido (REM, por sus siglas en inglés). Posteriormente, este resultado fue validado por el catastro disponible y las observaciones que se realizaron en terreno.

##### 6.1.1.2 *Inundación por anegamiento.*

La metodología utilizada para la zonificación de anegamiento consistió, por un lado, al geoprocesamiento digital, mediante software GIS, del DEM proporcionado para este estudio con el objetivo de detectar los sectores que establecen depresiones cerradas en la topografía. Para ello se aplica el rellenado del modelo que calcula nuevas elevaciones para las áreas con características de sumidero sin conexión hidrológica con los bordes del modelo (i.e., rellena las áreas correspondientes a bajos topográficos con ausencia de drenaje hacia el exterior para generar un ráster hidrológicamente correcto). Luego, se realiza la operación de diferencia entre el modelo rellenado y el original, para obtener las zonas donde potencialmente podrían ocurrir anegamientos. Finalmente, estas áreas se depuraron manualmente para eliminar aquellas que surgen debido a artefactos propios del modelo de elevación, o por corresponder a áreas pequeñas, no representables a escala de este estudio.

Por otro lado, la cobertura de anegamiento fue complementada con el mapeo aproximado (mediante *buffer* concéntricos a 50, 75 y 100 m desde los puntos) en torno de las áreas con catastro de anegamientos. Es decir, se añadieron diferentes áreas en el sector urbano de Padre Hurtado, principalmente al oriente del Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla); y también en el sector rural de Santa Mónica-San Luis, que se emplazan sobre la unidad de depósitos palustres y se cuenta con evidencia fotográfica de importantes anegamientos ocurridos en el pasado.

##### 6.1.1.3 *Inundación por napa freática.*

Para la zonificación de inundación por afloramiento de napa freática, se utilizaron criterios geológicos, geomorfológicos y topográficos junto a la correlación con aquellos datos de nivel estático de los pozos disponibles que registraban valores menores a 6 m de profundidad. Con esta información, se estableció que dichos niveles se ajustan a una unidad geomorfológica, a aquellas terrazas de origen fluvial y abanico aluvial cuyo desnivel respecto al cauce del río es menor a los 4 m, y a la envolvente de una curva de nivel hacia el este del río Mapocho. De esta manera, se reconocieron las zonas con potencial de inundación por afloramiento de napa freática.

#### 6.1.2 Remociones en masa.

##### 6.1.2.1 *Procesos de ladera.*

Para la zonificación de remociones en masa, específicamente para procesos de ladera, la metodología utilizada consistió en el geoprocesamiento digital del ráster de elevaciones proveniente del DEM proporcionado para este estudio. Allí se clasificaron las pendientes considerando los intervalos propuestos por Esaki et al. (2005), los cuales son 0° - 15°, 15° - 25°, 25° - 35° y > 35°. Posteriormente, a partir de una serie de algoritmos se suavizaron

automáticamente las celdas clasificadas para disminuir el ruido propio del ráster debido a la resolución derivada del DEM.

Finalmente, se modificó de manera manual aquellas zonas que, a pesar de los geoprocesos de limpieza automática, todavía presentaban ruido innecesario (zonas con polígonos de área despreciable, bordes irregulares de polígonos, embahiamientos estrechos, etc.).

### **6.1.2.2 Flujos de barro y/o detritos.**

Para la zonificación de flujos de barro y/o detritos se realizó una revisión del modelo sombreado, curvas de nivel del levantamiento topográfico proporcionado para este estudio y la geología. A partir de estos insumos, se caracterizaron y determinaron las quebradas y los abanicos aluviales asociados según características geomorfológicas.

## **6.2 ASIGNACIÓN DE NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD Y MAPAS DE AMENAZAS.**

### **6.2.1 Inundaciones terrestres.**

#### **6.2.1.1 Inundación por desborde de cauce.**

Se establecieron tres niveles de susceptibilidad para inundación por desborde de cauce. Para su definición se utilizó principalmente la geomorfología y las elevaciones del REM, de manera que mientras más cerca y a nivel del cauce del río, mayor nivel de susceptibilidad (ver FIGURA 6-1).

- Susceptibilidad Muy Alta: corresponden a las zonas del lecho del río Mapocho y estero Frío y aquellos sectores aterrizados que están a menos de 2 m de altura respecto de los cauces.
- Susceptibilidad Alta: corresponden a aquellas terrazas fluviales que están a menos de 4 m de altura respecto de los cauces.
- Susceptibilidad Moderada: corresponden a aquellas terrazas fluviales que están a menos de 6 m de altura respecto de los cauces.

#### **6.2.1.2 Inundación por anegamiento.**

Se establecieron tres niveles de amenaza de inundación por anegamiento. Para definirlos, se dio relevancia a la ocurrencia catastrada de eventos de anegamientos condicionados por la existencia de depresiones naturales o por la presencia de la unidad Depósitos palustres actuales (Hp) (ver FIGURA 6-2).

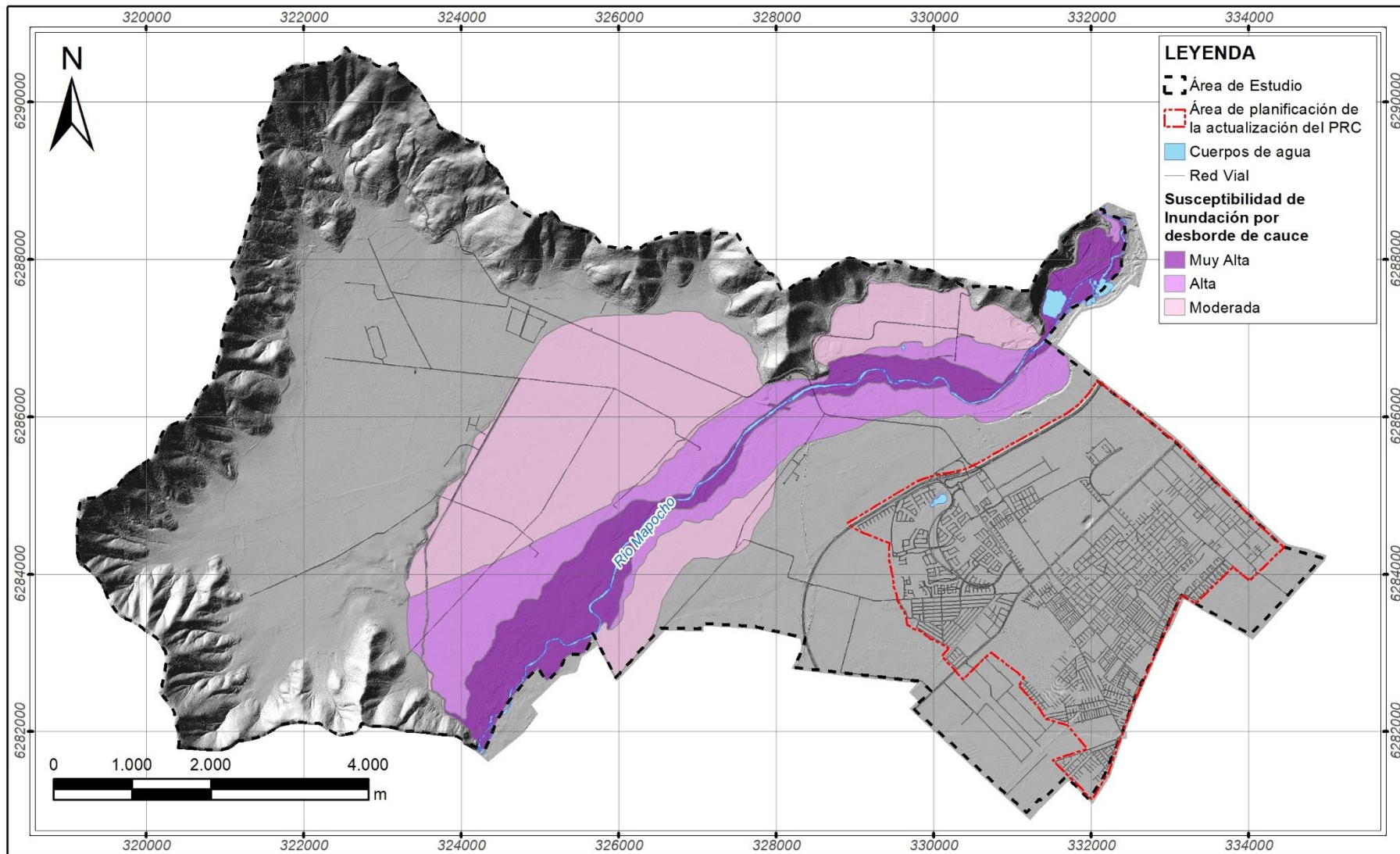
- Susceptibilidad Muy Alta: corresponden a las zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades varían entre 0.2 y 1 m y que se encuentran al interior de la unidad geológica de Depósitos palustres actuales (Hp).
- Susceptibilidad Alta: corresponden a las zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades superan 1 m. Además, incluye el área donde se extiende la unidad de Depósitos palustres actuales (Hp).
- Susceptibilidad Moderada: corresponden a las zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades varían entre 0.2 y 1 m, y que se ubican fuera de la unidad geológica de Depósitos palustres actuales (Hp). Incluye, además, un buffer de 25 m en torno al polígono de Susceptibilidad Alta dado por la unidad Hp.

#### **6.2.1.3 Inundación por napa freática.**

Se establecieron dos niveles de susceptibilidad para inundación por napa freática según observaciones de terreno y considerando que el descenso del nivel freático, como consecuencia de la explotación de aguas subterráneas, hace que esta amenaza sea menos frecuente (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2002). Su definición se basó en las características geológicas y el nivel freático (ver FIGURA 6-3).

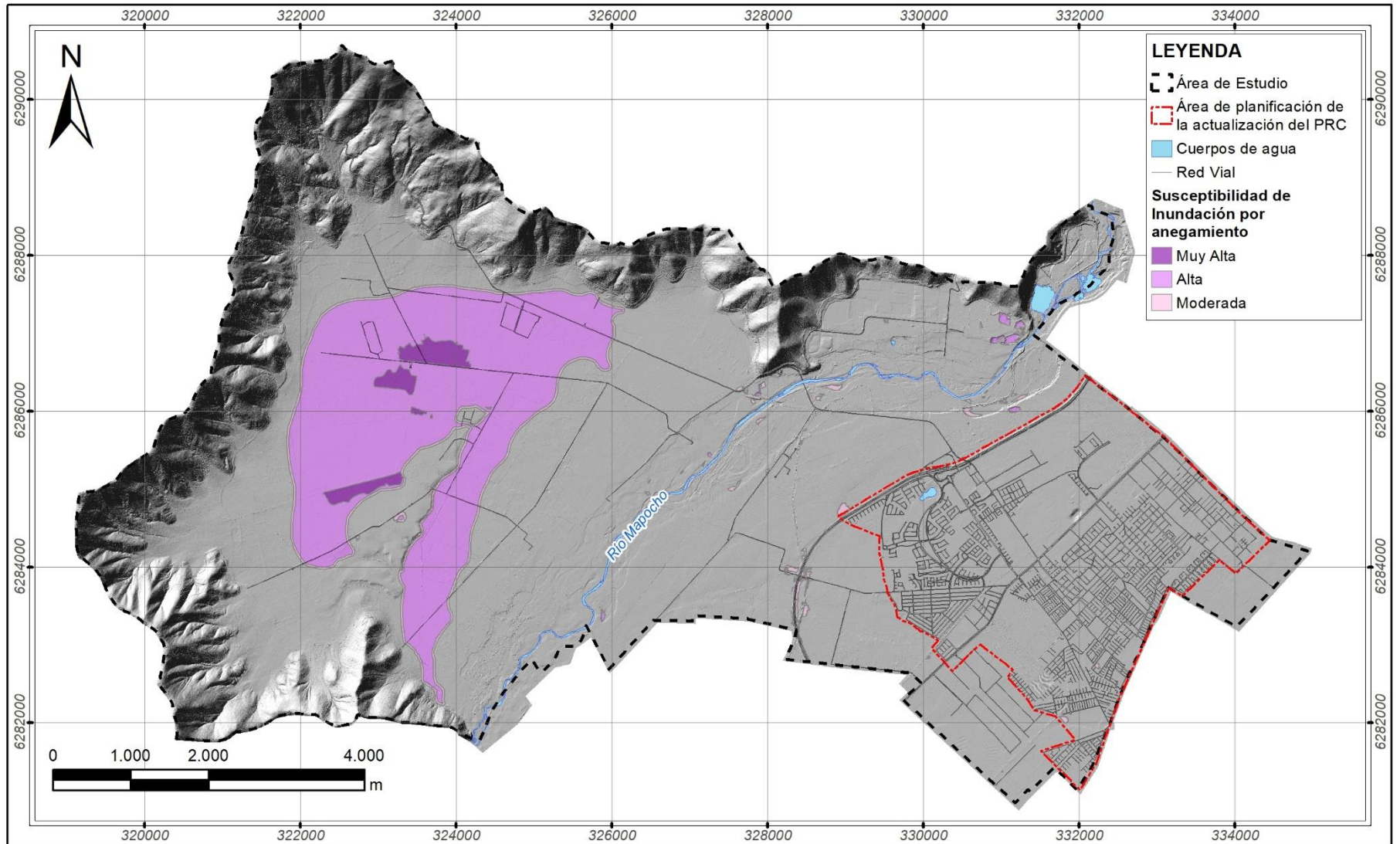
- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a las zonas donde afloran los depósitos palustres actuales (Hp).
- Susceptibilidad Alta: corresponden a aquellas zonas donde el nivel freático se encuentra a una profundidad menor que 6 m.

FIGURA 6-1: Mapa de susceptibilidad de inundación por desborde de cauce.



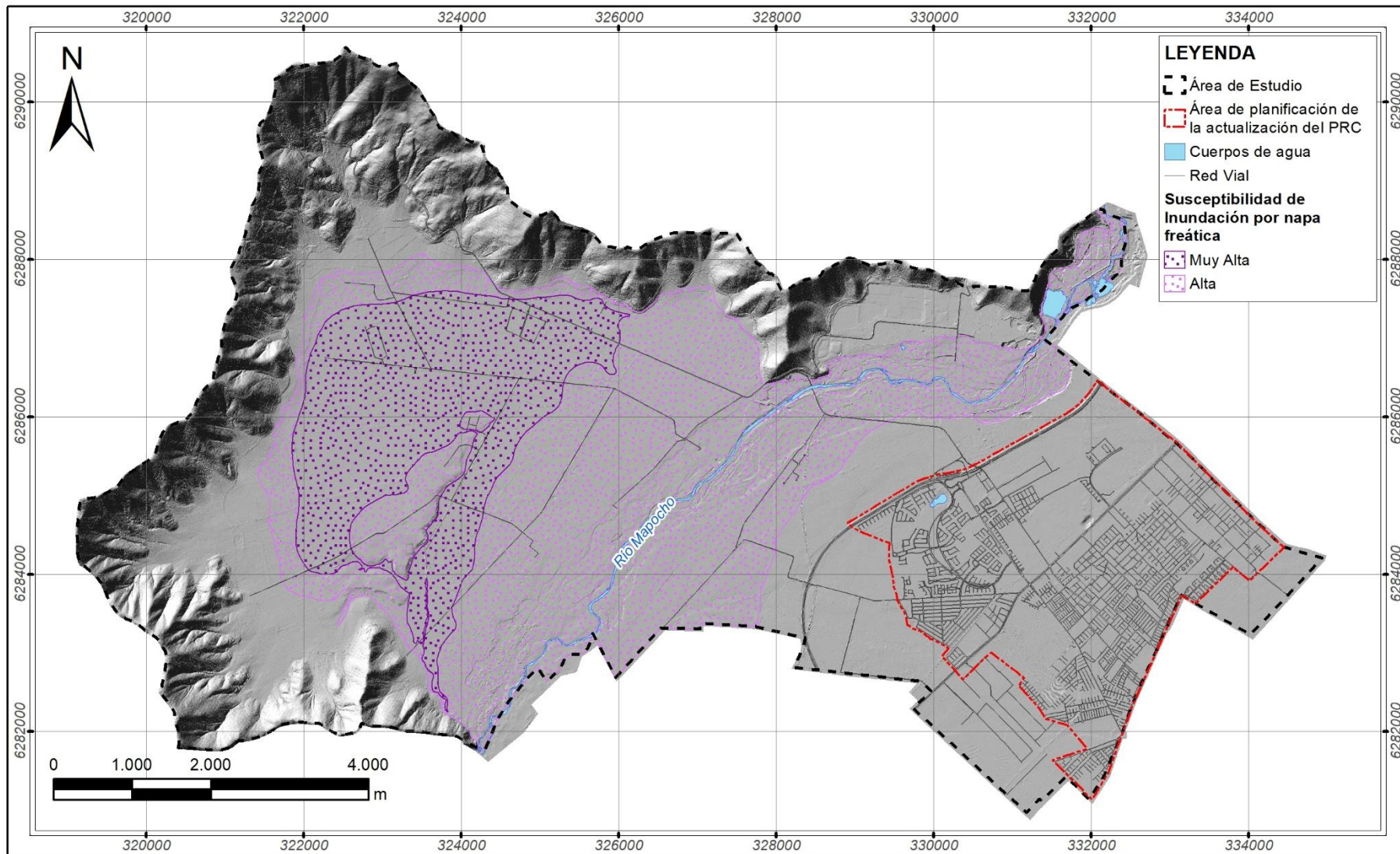
Fuente: Elaboración propia (2023).

FIGURA 6-2: Mapa de susceptibilidad de inundación por anegamiento.



Fuente: Elaboración propia (2023).

FIGURA 6-3: Mapa de susceptibilidad de inundación por napa freática.



Fuente: Elaboración propia (2023).

## **6.2.2 Remociones en masa.**

### **6.2.2.1 Procesos de ladera.**

Se establecieron tres niveles de susceptibilidad de procesos de ladera. Para definir los niveles se utilizaron criterios geomorfológicos y topográficos. De manera que laderas o taludes con mayor pendiente, mayor nivel de susceptibilidad (ver FIGURA 6-4).

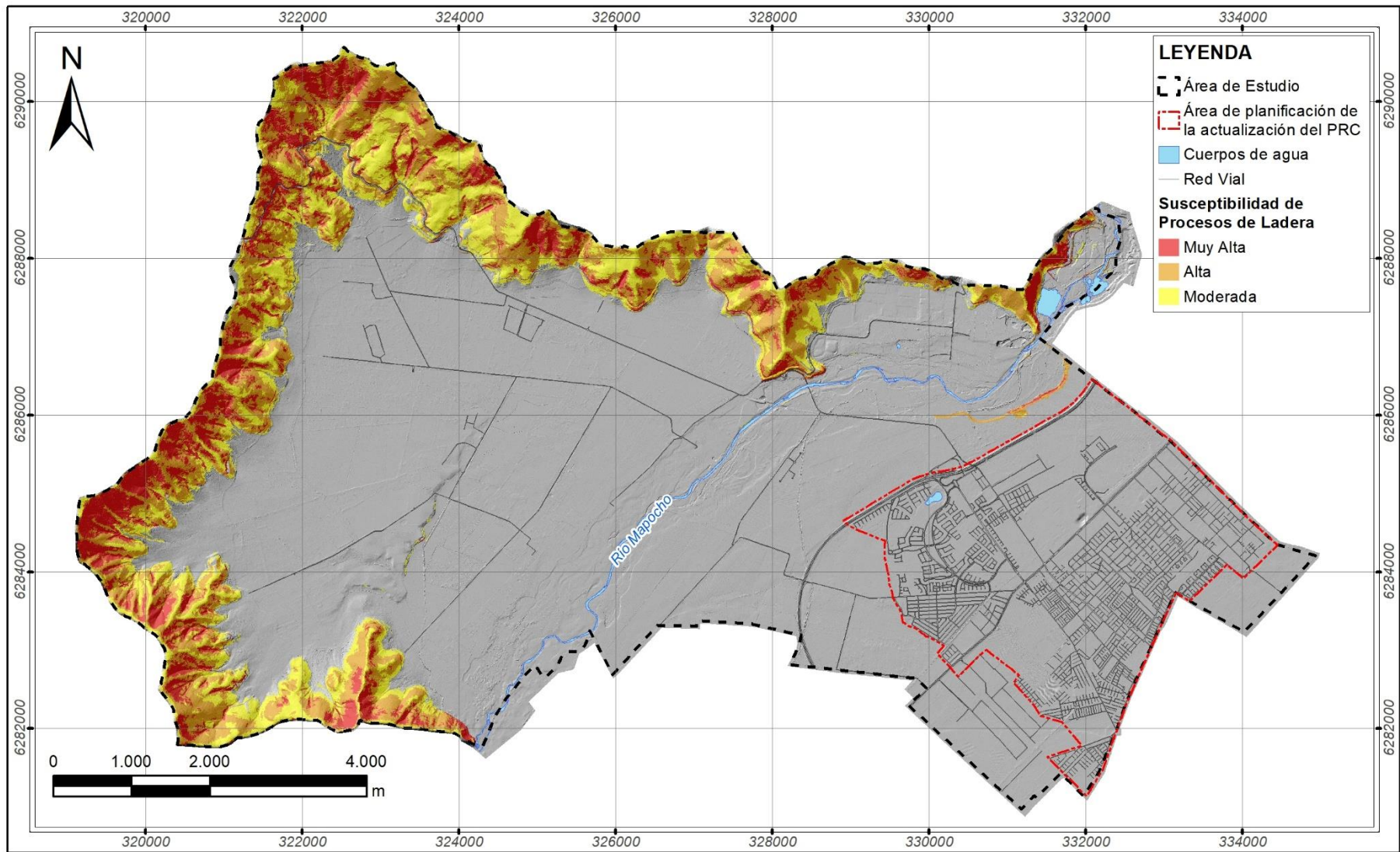
- Susceptibilidad Muy Alta: corresponden a zonas con laderas naturales o taludes con pendientes mayores a 35°.
- Susceptibilidad Alta: corresponden a zonas con laderas naturales o taludes con pendientes entre 25° y 35°.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a zonas con laderas naturales o taludes con pendientes entre 15° y 25°.

### **6.2.2.2 Flujos de barro y/o detritos.**

Se establecieron tres niveles de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos en base a criterios geológicos y geomorfológicos (ver FIGURA 6-5).

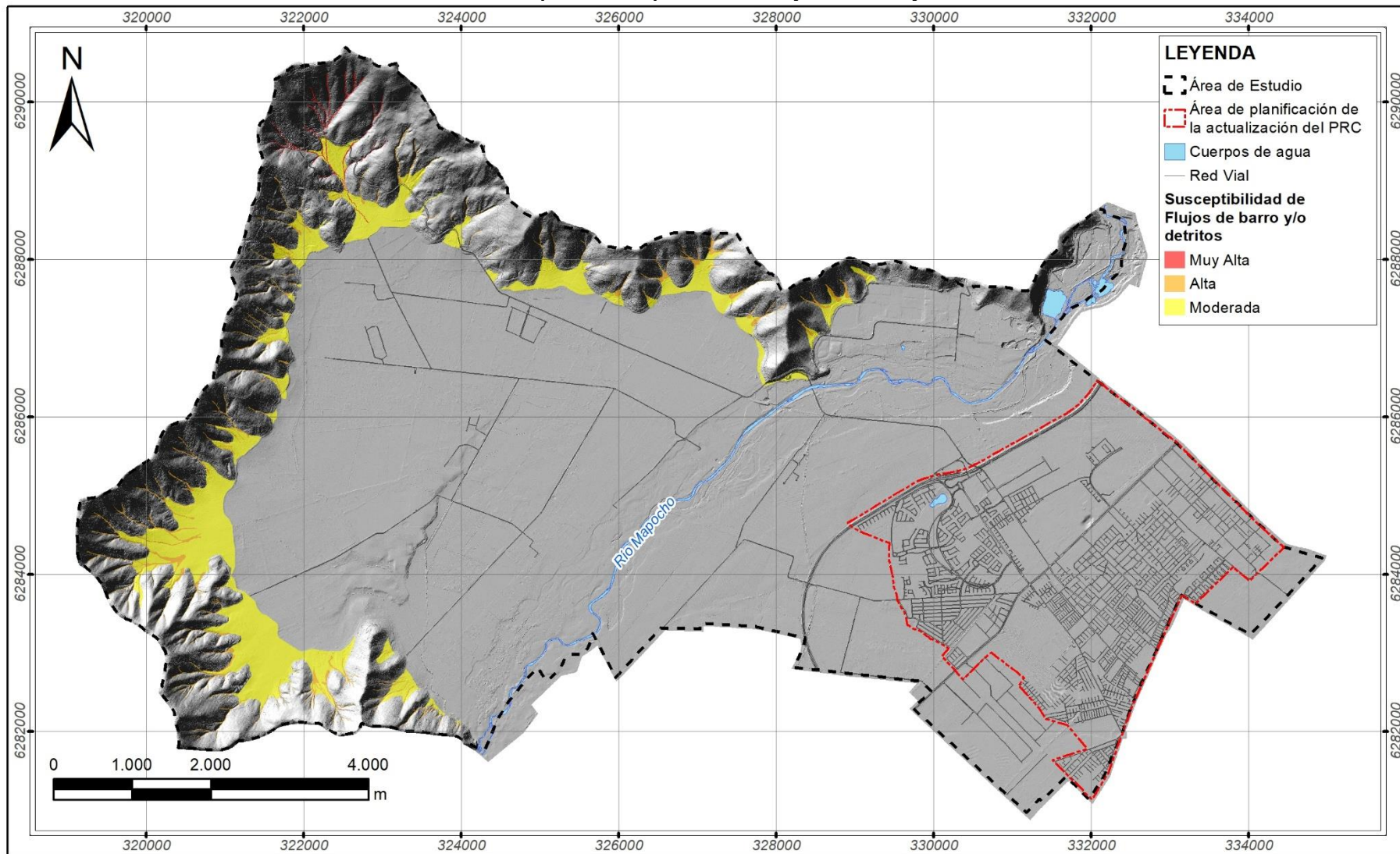
- Susceptibilidad Muy Alta: corresponde a cauces de quebradas que presentan condiciones para generar flujos y que han tenido registro de eventos históricos.
- Susceptibilidad Alta: corresponde a cauces de quebradas que presentan condiciones para generar flujos pero que no han registrado eventos históricos.
- Susceptibilidad Moderada: corresponde a zonas de pendiente media donde existe potencial para que el material transportado por un flujo deposite su material allí.

FIGURA 6-4: Mapa de susceptibilidad de procesos de ladera.



Fuente: Elaboración propia (2023).

FIGURA 6-5: Mapa de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos.



Fuente: Elaboración propia (2023).

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

### 7.1 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.

Para definir los criterios que permitan incorporar las amenazas naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en el CUADRO 7-1 se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad.

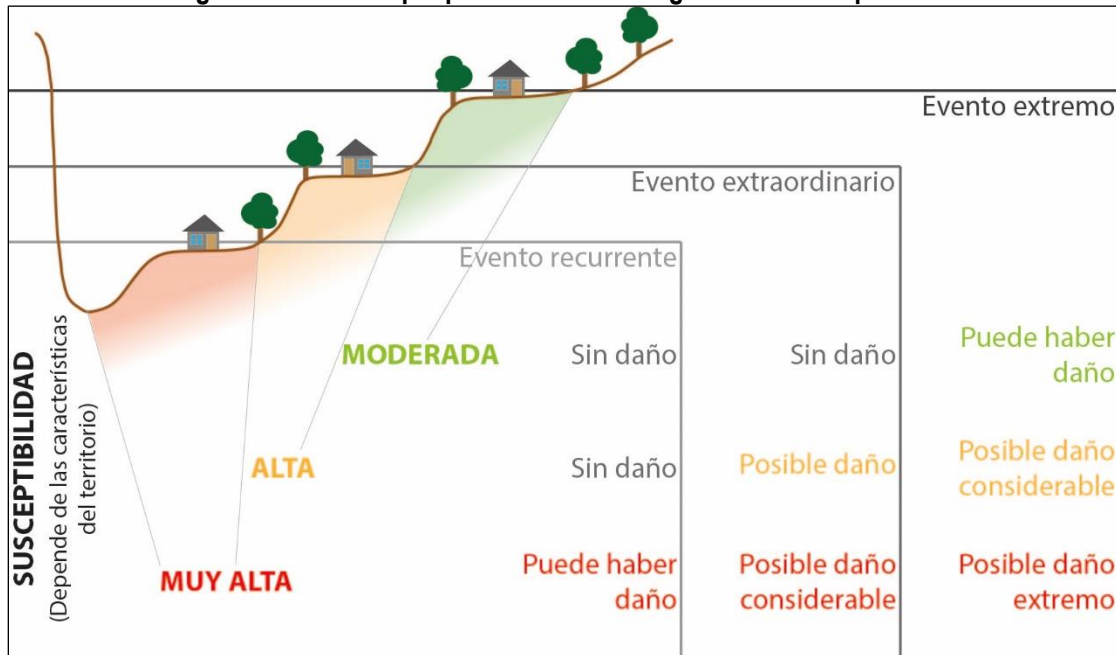
**CUADRO 7-1: Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada amenaza geológica y criterios de zonificación de la susceptibilidad.**

Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
<b>Inundación por desborde de cauce</b>	Características geomorfológicas y red de drenaje (morfología, tipo de escorrentía) Presencia y características de terrazas fluviales	Lluvias intensas	Catastro de eventos de inundación por desborde de cauce Observaciones de terreno Pendientes Relación de la distancia vertical entre los cauces de agua y las terrazas fluviales
<b>Inundación por anegamiento</b>	Características geomorfológicas (zonas deprimidas)	Lluvias intensas	Catastro de eventos de inundación por anegamiento (por factores naturales) Observaciones de terreno Presencia de zonas inundadas permanentemente Características geomorfológicas (zonas deprimidas)
<b>Inundación por napa freática</b>	Permeabilidad del suelo Nivel de aguas subterráneas	Lluvias intensas Deshielos durante épocas estivales	Isopiezas (curvas de nivel freático) Topografía
<b>Procesos de ladera</b>	Pendientes	Sismos Lluvias intensas	Pendiente del terreno Catastro de remociones en masa Observaciones de terreno
<b>Flujos de barro y/o detritos</b>	Morfología de las quebradas y sus zonas de descarga.	Lluvias intensas	Catastro de eventos de flujos de barro y/o detritos Características geomorfológicas y geológicas Pendientes
<b>Sismicidad</b>	Existencia de fallas activas	Sismos	No se zonifica a escala de comuna
<b>Volcanismo (caída de ceniza)</b>	Distancia a los centros eruptivos Morfología de la red hidrográfica Dirección del viento	Erupciones	No se zonifica a escala de comuna

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa. Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto

fenómeno. En este sentido, las zonas de ‘muy alta’ susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir cualquier evento 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 los que muchas veces no existen registros históricos, pero sin otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, y al mismo tiempo, los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio, de la forma que se ejemplifica en la FIGURA 7-1 para el caso de las inundaciones por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.

**FIGURA 7-1: Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.**



Fuente: Elaboración propia (2023).

## 7.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A NIVEL COMUNAL.

Gran parte del territorio comunal de Padre Hurtado se extiende en una zona llana conformada por antiguos depósitos aluviales y fluviales asociados a los sistemas del río Mapocho y Maipo, que actualmente están siendo retrabajados por el cauce del río Mapocho. En menor medida, hacia el sector occidental de la comuna se encuentran cerros y laderas de la Cordillera de la Costa con pendientes altas a moderadas. Estas características propias del territorio exponen a la comuna de Padre Hurtado a la ocurrencia de amenazas ligadas con inundaciones en sus planicies y remociones en masa en sus zonas más escarpadas.

En este escenario, el Plan Regulador Comunal considera tres medidas destinadas a gestionar el riesgo en el área normada:

- Restricción al desarrollo urbano: corresponden a aquellas áreas en que se restringe la urbanización y/o construcción en el territorio. Las disposiciones normativas del Plan pueden consolidar áreas verdes o usos complementarios al área verde.
- Desarrollo urbano controlado: corresponden a acciones destinadas a controlar, mediante las disposiciones normativas del Plan relativas a la intensidad de uso y construcción del territorio, sin perjuicio de las acciones complementarias de mitigación que deban desarrollar los particulares.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

- **Habilitación condicionada:** se orienta a los sectores que permiten su habilitación, condicionada solamente a la ejecución de obras de mitigación por parte de los particulares – urbanizadores, en cumplimiento con lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC.

A modo de sugerencia, las zonas de mayor énfasis en las que se deben establecer estas restricciones para controlar el desarrollo urbano son en aquellas áreas que se categorizan bajo una susceptibilidad Muy Alta y Alta para cada una de las amenazas reconocidas. De esta manera, al menos estas áreas deberían zonificarse como Áreas de Riesgo según el Artículo 2.1.17 de la OGUC (CUADRO 7-2).

**CUADRO 7-2: Recomendación de áreas de riesgo según el Art. 2.1.17 de la OGUC para cada una de las categorías de las amenazas reconocidas.**

Peligro geológico estudiado en este Trabajo	Susceptibilidad	Descripción	“Áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC
<b>Inundaciones por desborde de cauces</b>	MUY ALTA	Cauces activos geológicamente y, por tanto, a los depósitos fluviales actuales del estero Frío y sectores a menos de 2 m de desnivel respecto al cauce del río Mapocho, incluyendo su planicie de inundación.	X
	ALTA	Cauces que, geológicamente, corresponden a depósitos fluvio-aluviales activos del río Mapocho junto a sectores con menos de 4 m de desnivel respecto a su cauce.	X
	MODERADA	Depósitos aterrazados de origen fluvial-aluvial ubicados a mayor altura que las áreas de susceptibilidad alta. Corresponden a aquellos sectores con un desnivel menor a 6 m respecto al cauce del río Mapocho.	-
<b>Inundación por anegamiento</b>	MUY ALTA	Zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades varían entre 0.2 y 1 m y que se encuentran al interior de la unidad geológica de Depósitos palustres actuales (Hp).	X
	ALTA	Zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades superan 1 m. Además, incluye el área donde se extiende la unidad de Depósitos palustres actuales (Hp).	X
	MODERADA	Zonas deprimidas detectadas en la topografía cuyas profundidades varían entre 0.2 y 1 m, y que se ubican fuera de la unidad geológica de Depósitos palustres actuales (Hp). Incluye, además, un buffer de 25 m en torno al polígono de Susceptibilidad Alta dado por la unidad Hp.	-
<b>Procesos de ladera</b>	MUY ALTA	Zonas con laderas naturales o taludes con pendientes por encima de 35°.	X
	ALTA	Zonas con laderas naturales o taludes cuyas pendientes en el intervalo entre 25° y 35°.	X
	MODERADA	Zonas con laderas naturales o taludes con pendientes en el intervalo entre 15° y 25°.	
<b>Napa freática</b>	MUY ALTA	Corresponde a zonas donde afloran los depósitos palustres actuales (Hp).	X
	ALTA	Corresponden a aquellas zonas donde el nivel freático se encuentra a una profundidad menor que 6 m.	X
<b>Flujos de barro y/o detritos</b>	MUY ALTA	Asociado a cauces de quebradas que presentan condiciones para generar flujos y que han tenido registro de eventos históricos.	X
	ALTA	Asociado a cauces de quebradas que presentan condiciones para generar flujos pero que no han registrado eventos históricos.	X
	MODERADA	Asociado a zonas de pendiente media donde existe potencial para que el material transportado por un flujo deposite su material allí.	-

A continuación, se presentan conclusiones y recomendaciones específicas para las amenazas reconocidas en el territorio comunal.

## **7.2.1 Inundaciones terrestres.**

### **7.2.1.1 Inundación por desborde de cauce.**

El factor más relevante de esta amenaza se relaciona a la elevación del territorio con respecto al cauce del río Mapocho. De esta manera, aquellas zonas más susceptibles se encuentran aledañas a toda la extensión del lecho de este cauce junto con cauces tributarios como el estero Frío, y a terrazas topográficamente más bajas y cercanas a la superficie de estos.

Los sectores de Los Aromos, Santa Lucía y Las Brisas son utilizados con fines principalmente habitacionales, industriales y agrícolas, encontrándose en las zonas de susceptibilidad muy alta o alta. En base a ello, se recomienda destinar las áreas de susceptibilidad muy alta y alta a actividades que no induzcan grandes pérdidas ni ponga en riesgo a la población. Para aquellas zonas que ya están en ocupación, se recomienda no aumentar la intensidad de esta.

### **7.2.1.2 Inundación por anegamiento.**

En el territorio se reconocieron diversos puntos de anegamiento recurrentes, tanto en el área urbana de Padre Hurtado como en los sectores rurales. En el área urbana destaca el sector de la Av. San Ignacio con las calles Los Jesuitas y El Roble, así como las intersecciones de avenidas importantes con la Av. San Alberto Hurtado (Ex Camino a Melipilla), no obstante, estos anegamientos se deben a condiciones antrópicas y no naturales (por lo tanto, no fueron zonificados). En tanto, en el sector rural sobresale un área de anegamiento en Santa Mónica, que coincide, además, con amplias depresiones cerradas (con profundidades inferiores a 1 m) reveladas mediante el análisis de la topografía y con la unidad de mal drenaje y/o afloramiento de napa (Depósitos palustres actuales, Hp).

Se recomienda no ocupar las zonas con susceptibilidad muy alta, no localizar equipamiento esencial en las zonas de susceptibilidad alta y no aumentar la intensidad de ocupación en las zonas de susceptibilidad moderada. En general, para todas estas áreas, así como para los puntos de anegamiento urbano catastrados, se recomienda limpieza y mejoramiento de sistemas de evacuación de aguas lluvias, así como de las acequias y canales de regadío que las atraviesan el área.

### **7.2.1.3 Inundación por napa freática.**

El Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), en el artículo 8.2.1.1, letra a.2, define normas destinadas a resolver posibles problemas relacionados con el afloramiento de aguas subterráneas, debido a la escasa profundidad a la que se encuentra el nivel freático bajo la superficie del terreno. Para enfrentar este potencial problema, se busca asegurar que se cumplan las siguientes dos condiciones: (1) que la napa freática se encuentre a una profundidad de a lo menos 5 m en la época más desfavorable del año, y (2) que la napa se encuentra a una profundidad de a lo menos 3 m bajo el sello de fundación.

Luego de revisar diferentes antecedentes relativos a la profundidad del nivel freático en la comuna de Padre Hurtado, se concluye que:

- Hacia el sector oriental de Padre Hurtado, los niveles registrados son medianamente profundos. A esto se suma que en las últimas décadas se observa un descenso en los niveles del orden de 15 m. De acuerdo con estas condiciones, no existen condiciones para que ocurra afloramiento de napa freática, según los criterios definidos en el PRMS.
- En el sector occidental de Padre Hurtado, específicamente en sectores de Los Aromos, San Luis, Santa Mónica, Las Brisas, Santa Lucía y aledaños al río Mapocho existen condiciones para que ocurra afloramiento de napa freática, según los criterios definidos en el PRMS. Por lo tanto, se debe revisar la zonificación de esta amenaza para determinar los lugares específicos en que se presenta la amenaza.

En aquellos lugares donde se ha reconocido que existen condiciones para que ocurra afloramiento de la napa y sea una zona de susceptibilidad Alta, es necesario cumplir con las exigencias que se definen en el PRMS, es decir, se debe realizar un estudio hidrogeológico, evaluado e informado favorablemente por los organismos competentes (en

este caso, el Ministerio de Obras Públicas, a través de sus direcciones pertinentes, y el Servicio Nacional de Geología y Minería).

En el estudio se determinará la vulnerabilidad del recurso hídrico en función de la profundidad de la napa y permeabilidad de los suelos, mediante el CUADRO 7-3, y las conclusiones deberán demostrar que las actividades a desarrollar no afectarán o contaminarán las aguas subterráneas, además de permitir mantener la recarga del acuífero y el balance hídrico.

**CUADRO 7-3: Vulnerabilidad en función de los grados de permeabilidad y la profundidad de la napa, definida en el PRMS.**

		Profundidad de la napa			
		0-5 m	5-15 m	15-30 m	30-50 m
Grados de permeabilidad	Lenta (0,125 - 0,5 cm/hora)	Muy Alta	Baja	Muy Baja	Muy Baja
	Moderadamente lenta (0.5 - 2 cm/hora)	Muy Alta	Baja	Muy Baja	Muy Baja
	Moderada (2 - 6,25 cm/hora)	Muy Alta	Alta	Muy Baja	Muy Baja
	Moderadamente rápida (6,25 - 12,5 cm/hora)	Muy Alta	Alta	Muy Baja	Muy Baja
	Rápida (12,5 - 25 cm/hora)	Muy Alta	Alta	Baja	Muy Baja
	Muy rápida (más de 25 cm/hora)	Muy Alta	Alta	Baja	Muy Baja

En aquellos lugares donde se ha reconocido que existen condiciones para que ocurra afloramiento de la napa y sea una zona de susceptibilidad Muy Alta, se recomienda descartar el desarrollo urbano, debido a la presencia de agua. Además, el desarrollo urbano en estos sectores puede tener implicancias en la calidad fisicoquímica del recurso hídrico subterráneo.

## 7.2.2 Remociones en masa.

### 7.2.2.1 Procesos de ladera.

En el área de estudio se reconocen pocos eventos de procesos de ladera, o bastante focalizados a afloramientos colindantes a rutas como la de la cuesta Barriga o la subida hacia El Trebal. Además, se constató el aumento de viviendas o construcciones hacia las faldas de los cerros, donde existe un desnivel y altas pendientes, que son factores condicionantes para la ocurrencia de esta amenaza.

Considerando las características geológicas y geomorfológicas del territorio, es probable que ocurran amenazas de este tipo, pero de bajo volumen debido a la escasa presencia de afloramientos rocosos. Sin embargo, debido al cambio climático y la disminución de la vegetación nativa en los cerros, es posible que la erosión en ellos se incremente y desencadene eventos como deslizamiento o deformaciones de sus laderas.

En base a lo analizado, se sugiere regular la urbanización en las zonas susceptibles a procesos de ladera, específicamente en aquellas de nivel de amenaza Muy Alta y Alta. No obstante, es importante monitorear la erosión antrópica que se pueda desarrollar en las laderas ya que la pérdida y eliminación de vegetación, en especial la nativa, junto con la generación de taludes de mayor ángulo puedan aumentar la favorabilidad para la ocurrencia de estos eventos. Se sugiere destinar a áreas verdes las zonas de susceptibilidad Muy Alta y Alta que no estén ocupadas y no localizar equipamiento esencial en zonas de susceptibilidad moderada.

### 7.2.2.2 Flujos de barro y/o detritos.

Al igual que en procesos de ladera, eventos asociados a flujos de barro y/o detritos han sido escasamente reconocidos en el área de estudio. El único evento reconocido fue uno ocurrido en la década de los 80 en la quebrada de La Mina que no afectó a casas ya que se encuentra en las partes altas de la cuesta barriga.

Hacia las faldas de cerro de sectores como Los Corrales y San Luis, se notó un importante crecimiento inmobiliario y apertura de calles que cruzan o están insertas en las quebradas de los cerros, los cuales poseen incisiones profundas

y bien definidas. A pesar de que a estas quebradas se les asignaron niveles de susceptibilidad Alta, las intervenciones mencionadas pueden aumentar la magnitud de este tipo de eventos debido a que estas favorecen la acumulación y retención de material.

Se recomienda que en las zonas de susceptibilidad Muy Alta y Alta se evite la intervención antrópica desregulada, ya que podrían favorecer al bloque de las quebradas, a la acumulación de material en ellas y su erosión, modificando e incrementando las condiciones naturales que generan esta amenaza. Además, para aquellas zonas de susceptibilidad Moderada se sugiere regular la urbanización y destinando a áreas verdes a aquellas que no estén ocupadas y no localizar equipamiento esencial.

### **7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A NIVEL DE PLANIFICACIÓN.**

Dado que el “área de planificación de la actualización del PRC” de la comuna de Padre Hurtado abarca sólo una fracción del territorio comunal, las amenazas naturales zonificadas no necesariamente se manifiestan dentro de sus límites. De hecho, esta área de planificación se emplaza en su totalidad sobre la planicie fluvial ubicada al oriente del río Mapocho, elevada más de 6 metros por sobre su cauce, y alejada de las laderas de alta pendiente asociadas al cordón de la Cordillera de la Costa. Por estas razones, esta área no presenta susceptibilidad ante cuatro de las cinco amenazas naturales zonificadas a nivel comunal. La única amenaza presente corresponde a inundación por anegamiento; no se identifican amenazas por desborde de cauces, ascenso de napa freática, procesos de remoción en masa ni flujos de barro y/o detritos (ver FIGURA 7-2).

#### **7.3.1 Inundaciones terrestres.**

El análisis de las áreas susceptibles a inundaciones terrestres —ya sea por desborde de cauces, anegamiento o napa freática— indica que el área de planificación presenta únicamente amenaza por anegamiento, y solo en un nivel moderado (ver FIGURA 7-2). Las zonas afectadas corresponden a pequeñas depresiones del terreno detectadas mediante análisis topográfico.

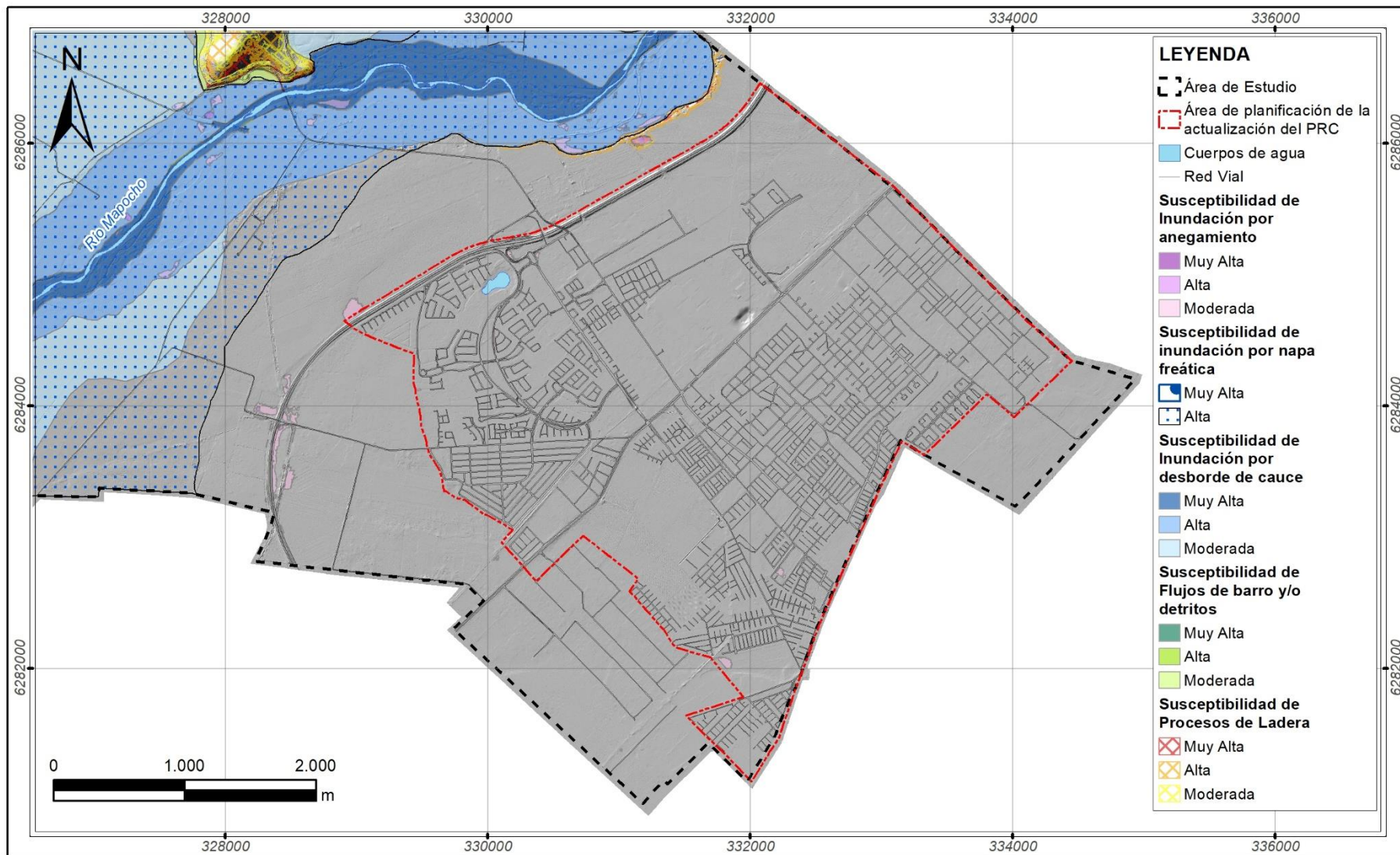
Para mitigar la amenaza en estas áreas y en los sectores de anegamiento urbano de origen antrópico catastrados (FIGURA 4-1), recomendamos implementar medidas desde la planificación territorial. Estas pueden ser a través de normas urbanísticas y medidas de gestión, que promuevan la construcción, mejora, mantenimiento y limpieza de los sistemas de evacuación de aguas lluvias, estas últimas, que escapan al ámbito de competencia de un instrumento de planificación, pero son aplicables a la adopción de mecanismos de gestión, tanto de estamentos públicos como privados.

En síntesis, considerando las recomendaciones establecidas en el CUADRO 7-2, en el caso de las áreas afectadas por amenaza moderada de anegamiento, no corresponde el establecimiento de un área de riesgo en el interior del área de planificación, de acuerdo a lo definido por el artículo 2.1.17 de la OGUC.

#### **7.3.2 Remociones en masa.**

Las zonas susceptibles a remociones en masa, como procesos de ladera y flujos de barro y/o detritos, se localizan totalmente fuera del área de planificación (ver FIGURA 7-2). En consecuencia, se concluye que el área de planificación de la actualización del PRC no presenta susceptibilidad frente a este tipo de amenazas, conforme a las recomendaciones establecidas en el CUADRO 7-2.

FIGURA 7-2: Mapa de síntesis de amenazas respecto del área de planificación de la actualización del PRC de Padre Hurtado.



Fuente: Elaboración propia (2025).

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## 8 ÁREAS DE RIESGO GENERADAS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

### 8.1 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS O TERRENOS CON PRESENCIA DE RIESGOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA.

#### 8.1.1 Identificación de peligros vinculados con incendios forestales.

##### 8.1.1.1 *Sobre sectores con potencial área de riesgo por la actividad o intervención humana.*

Para la elaboración de este documento, se han revisado diversos antecedentes provenientes de documentos escritos, fotos, imágenes aéreas y satelitales, testimonios, recorridos de terreno, entre otros, que buscan identificar la existencia de zonas o áreas en las cuales se pueda advertir la presencia de excavaciones, depósitos de materiales o actividades humanas de cualquier índole que pudiesen fundamentar su eventual declaración como Área de Riesgo en la categoría 4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana a que se refiere el artículo 2.1.17. de la OGUC.

Este análisis se centra principalmente dentro del área urbana de la comuna de Padre Hurtado, en relación al análisis específico sobre la potencial exposición a peligros asociados a incendios forestales.

##### 8.1.1.2 *Sobre los incendios forestales*

La frecuente ocurrencia de incendios de elementos no estructurales<sup>3</sup>, comúnmente denominados incendios forestales, han causado daños considerables en áreas rurales y también en áreas pobladas.

Según la definición de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) un incendio forestal es *“Un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son vegetales y que, en su propagación, puede destruir todo lo que encuentre a su paso”*<sup>4</sup>

Respecto a lo anterior, la misma fuente menciona que el 99,7% de los incendios tiene su origen por la acción humana, ya sea por descuidos o negligencias en la manipulación de fuentes de calor, o por malas prácticas agrícolas o por intencionalidad originada en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva. En Chile gran parte de la vegetación es sensible al fuego y en la cual el daño no sólo es su quema y destrucción, sino que, además, afecta al suelo, a la fauna, al aire, al ciclo del agua y, en general, al entorno del ser humano, a la infraestructura y, en ocasiones, afecta a las viviendas y a las propias personas.

De acuerdo a CONAF, existen 3 tipos de incendios forestales, según la capa vegetal que afectan:

- **De superficie:** Son los más comunes y queman el sotobosque. Su velocidad de propagación dependerá del tipo y condición del combustible, topografía y tiempo atmosférico.
- **Aéreo, de copas o corona:** Se originan producto de un fuego de superficie, que luego avanza por las copas de los árboles y/o arbustos. La velocidad de propagación y desprendimiento calórico es alta.
- **Subterráneos:** El fuego quema raíces, la capa de humus del suelo y la micro-fauna. Se caracteriza por una combustión sin llamas. La velocidad de propagación en este caso es lenta. En un incendio forestal casi nunca se da uno; generalmente se dan combinaciones de los tipos señalados; por ejemplo, de superficie y copas.

---

<sup>3</sup> **Incendios Estructurales** *“Un incendio estructural corresponde a aquel tipo de incendio que se produce en casas, edificios, locales comerciales, etc.”* (ONEMI)

<sup>4</sup> <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/>

Con fines de facilitar la comprensión de estos fenómenos y contribuir a la prevención de los incendios forestales, entre otros documentos de difusión, compendios estadísticos, estudios y plataformas on-line, CONAF a publicado un índice con el cual se puede apreciar la susceptibilidad de que el combustible fino muerto<sup>5</sup> pueda iniciar su ignición y luego propagarse. Como se puede apreciar en el CUADRO 8-1, en la columna “Condición de severidad” se puede tener una clara idea de lo que puede ocurrir en cada nivel de humedad del material combustible.

**CUADRO 8-1: Condiciones de severidad asociadas según la humedad del combustible.**

HR (%)	Hum. Comb. (1h) (%)	Hum. Comb. (10h) (%)	Condición de severidad
> 60	>20	>15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ignición muy lenta</li> <li>• Algunas pavesas con vientos mayores a 14 km/h</li> </ul>
45 - 60	15 - 19	12 - 15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo riesgo de ignición</li> <li>• Fogatas de picnic pueden ser peligrosas</li> <li>• Posible ignición por pavesas cuando la HR&lt;50</li> </ul>
30 - 45	15 - 19	10 - 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ignición media</li> <li>• Fósforos pueden ser peligrosos</li> <li>• Condición de quema adecuada</li> </ul>
26 - 40	8 - 10	8 - 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto riesgo de ignición</li> <li>• Fósforos son peligrosos</li> <li>• Coronamiento ocasional</li> <li>• Pavesas</li> <li>• Condición moderada de quema</li> </ul>
15 - 30	6 - 8	6 - 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápida ignición</li> <li>• Rápido crecimiento</li> <li>• Coronamiento extensivo</li> <li>• Las pavesas aumentan directamente con el aumento del viento</li> <li>• Fuego sube por la corteza, encendiendo los combustibles aéreos</li> <li>• Pavesas enviadas muy lejos en las plantaciones de pino</li> <li>• Condición de quema peligrosa</li> </ul>
< 15	< 6	<6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toda fuente de ignición es de alto riesgo</li> <li>• Condición de propagación agresiva</li> <li>• Pavesas crecen rápidamente</li> <li>• Probabilidad de comportamiento extremo del fuego</li> <li>• Condición de quema crítica</li> </ul>

Fuente: CONAF.

### 8.1.1.3 Consideraciones normativas.

La División de Desarrollo Urbano (DDU) del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU), en el marco de la ocurrencia cada vez más frecuente de incendios de gran magnitud territorial, en los cuales resultaron afectadas una cantidad relevante de viviendas, emitió con fecha 18 de junio de 2014 la Circular Ord. N°350, conocida también como DDU 269, cuya materia es la “Definición de áreas de riesgo por amenaza de incendio en los Instrumentos de Planificación Territorial”.

En este documento, la DDU aclara que, los instrumentos de planificación territorial, previo estudio fundado, están facultados para declarar un área de riesgo por peligro de incendio, argumentando que, “el riesgo por incendio corresponde eminentemente a un riesgo generado por la actividad o intervención humana”, materia reglada en el numeral 4 del artículo 2.1.17. de la OGUC.

<sup>5</sup> <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/indice-de-humedad-del-combustible-fino-muerto/>

Desde el punto de vista metodológico, corresponde al Estudio de Riesgos analizar si existen los fundamentos necesarios para establecer un área de riesgo por incendio, amparado normativamente por lo establecido en el numeral 4 del artículo 2.1.17. de la OGUC.

Es dable consignar que la citada DDU 269, llamada a aclarar la aplicación de la norma sobre riesgos de incendio, no hace ninguna precisión respecto a la manera en que esta disposición pudiese ser aplicada y deja varias interrogantes sin resolver:

- En primer lugar, asume que todos los incendios están relacionados con la actividad o intervención humana, sin aclarar cuál sería esa relación: ¿se relaciona con la ignición? ¿con la materia combustible?
- En segundo lugar, no hace ningún tipo de precisión sobre que se entenderá por incendio, a sabiendas que existen muchos tipos de incendio, cada cual con características muy diferentes, dependiendo de una larga serie de variables. Este vacío conceptual resulta crucial a la hora de intentar establecer el alcance territorial de un peligro de incendio que debe necesariamente encontrar su relato en el ámbito normativo propio de los instrumentos de planificación territorial.
- En tercer lugar, tampoco entrega orientaciones sobre los contenidos, o bien, sobre cuáles son las variables que se debieran considerar en un estudio fundado para establecer un área de riesgo por esta causa.

También es importante señalar, que la lógica de aplicación del artículo 2.1.17. OGUC se mantiene inalterable: estando un proyecto en un “área de riesgo”, es el proyecto en sí – el afectado – quién debe mitigar el peligro al cual está expuesto, independientemente de si este peligro se genera fuera de su terreno. Así, si un proyecto (de viviendas, por ejemplo), que está en un “área de riesgo por incendio” deberá mitigar por sí sólo, junto con evitar que sus viviendas prendan fuego aun cuando este fuego provenga de un bosque en llamas ubicado en un terreno contiguo, de otro propietario. Esta manera de aplicar la norma plantea la interrogante de quién debe cargar con la responsabilidad y el costo de mitigar el peligro por incendio: quién almacena en su terreno material combustible (*vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. CONAF*), o bien, la víctima del incendio, ubicada en el terreno vecino (que no almacena material combustible).

Cabe notar que la aplicación del artículo 2.1.17. de la OGUC señala que los planes reguladores “podrán establecer áreas restringidas al desarrollo urbano”, no siento taxativo en establecer la obligación de hacerlo, por lo tanto, establecer un área de riesgo o no, queda en el ámbito de las decisiones de planificación que debe tomar el órgano responsable.

#### **8.1.1.4 Consideraciones metodológicas sobre alcance territorial de los incendios.**

Para que se produzca un incendio forestal y que éste se propague sin control deben concurrir tres elementos: a) presencia de material combustible; b) Condiciones para la ignición; c) Condiciones para la propagación

- Presencia de material combustible.** CONAF señala que la vegetación leñosa, arbustiva o herbácea viva o muerta puede ser considerada como material combustible. Es preciso señalar que no existe en el país información georreferenciada suficiente para determinar en detalle la presencia y calidad del material combustible vegetal como para establecer una variable controlable. Sin embargo, la experiencia de la última década muestra que los incendios han ocurrido de preferencia en terrenos cubiertos con bosques plantados con fines industriales, existiendo información en el catastro de uso del suelo de CONAF (2015) y, por tanto, es posible identificar los terrenos con esas plantaciones.
- Condiciones para la ignición.** Expertos e investigaciones coinciden en que la probabilidad de ignición para el inicio de incendios forestales aumenta cuando las condiciones meteorológicas muestran temperaturas prolongadas sobre los 30°C con una humedad relativa del aire bajo el 30%. Tal condición es posible de identificar con los registros meteorológicos de temperaturas y humedad relativa del aire existentes. Si bien, se han registrado casos en que la ignición no es atribuible a acciones humanas, CONAF menciona que la ignición se produce mayoritariamente por descuidos o negligencias en la manipulación del fuego, o bien, por acciones intencionales de diversa motivación, por lo que esta variable resulta incontrolable.
- Condiciones para la propagación.** La propagación del fuego se favorece cuando los vientos soplan en el orden de los 30 km/h (8.4 m/s), vientos que incrementan el aporte de oxígeno a la combustión y el consecuente aumento del alcance de las llamas, así como también facilitan la dispersión del fuego y el transporte de cenizas

incandescentes hacia sectores vecinos a sotavento. Cabe señalar que el comportamiento de la propagación del fuego también depende de factores topográficos tales como pendientes, alturas, cuencas y otros elementos que hacen variar el comportamiento de las llamas y su dispersión. Si bien, se han estado desarrollando modelos matemáticos que intentan reproducir el comportamiento de los incendios forestales, incorporando diversas variables (materiales combustibles, condiciones de temperatura y humedad relativa del aire, vientos, condiciones topográficas, entre otras), es posible conocer en detalle la variable velocidad y dirección del viento en un lugar específico del territorio en el Explorador de Energía Eólica del Ministerio de Energía (versión 2012), con lo que se estima cuando se producen vientos del orden de los 30 km/h y cuál es la dirección del viento preponderante, a fin de estimar las áreas eventualmente expuestas por alcance de un incendio forestal.

#### **8.1.1.5 Análisis del área de planificación PRC Padre Hurtado.**

Para el caso del Plan Regulador Comunal de Padre Hurtado, el análisis de los incendios forestales se elaboró con la siguiente metodología:

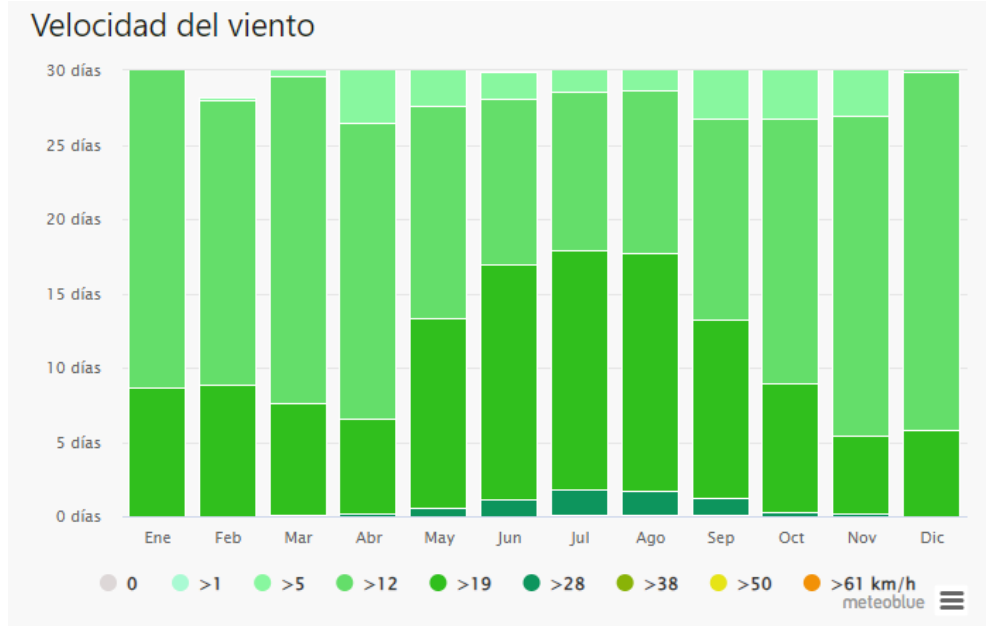
- a) El Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), ha puesto a disposición una aplicación gráfica e interactiva denominada “Visor Chile Preparado”, a través de ella cualquier persona que lo requiera podrá conocer por medio de su ubicación la exposición frente a tres de las amenazas de mayor connotación que afectan el territorio nacional: Volcánica, Incendios Forestales y Tsunami, que serán incrementadas paulatinamente en futuras versiones de esta aplicación. Sobre la cartografía base del plan regulador comunal se superpuso a la cobertura de bosques plantados el límite urbano planificado. El parámetro usado por SENAPRED corresponde a la densidad de incendios forestales, es decir al número de Incendios Forestales por kilómetro cuadrado ocurridos en los últimos cinco años. En donde se considera bajo de 1 a 3, medio: de 4 a 5, alto: de 6 a 10 y muy alto: más de 10. Estos datos van desde las fechas 07-2018 a 06-2023.
- b) Con los datos de los Informes de Viento entregados por el Explorador Meteoblue se identificó para cada lugar específico, la época del año en que se producen vientos mayores a 8 m/s y conociendo su dirección predominante, se señala la dirección desde donde podrían, eventualmente, provenir las llamas de un incendio forestal, y revisar si hay áreas dentro del límite urbano proyectado que podrían ser alcanzadas por un incendio forestal.
- c) CONAF en su página web posee el registro histórico de los incendios ocurridos en el país desde el año 2014 al 2024, los cuales se pueden filtrar por comuna y región.

Para el caso de la ciudad de Padre Hurtado, el análisis de velocidad del viento indica que en los meses de invierno se registran vientos de más de 30 km/h, meses en los cuales no se dan las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire necesarias para la ocurrencia de incendios forestales (ver FIGURA 8-1 y FIGURA 8-2). Por otra parte, en los meses de verano, cuando sí ocurren altas temperaturas y baja humedad relativa del aire.

En este contexto, en la FIGURA 8-3 se puede apreciar que, los sectores que tienen una frecuencia media (entre 4 y 5 incidentes) de ocurrencia de incendios están emplazados en torno al Camino El Trenal, cercano al río Mapocho y al Camino a Valparaíso y en la ruta D-55 (Av. Benavente) cercano a río Grande. Mientras que el resto de la comuna presenta índices de incidencia de incendios forestales muy bajos.

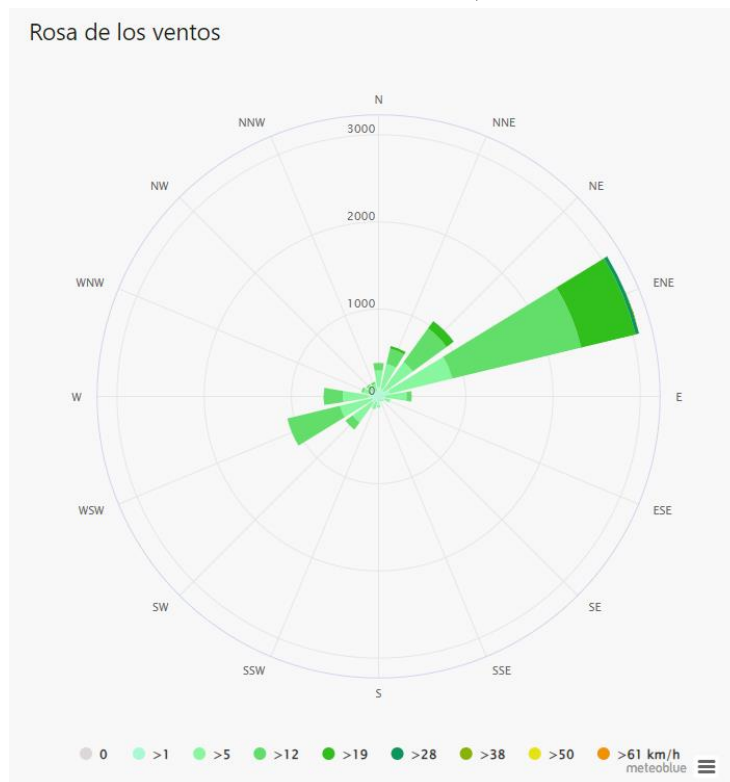
Mientras que en la FIGURA 8-4 se puede apreciar que, dentro del rango de incendios forestales representados en el gráfico, la mayor cantidad de hectáreas afectadas por incendios en la comuna de Padre Hurtado ocurrieron en los años 2016 y 2017, con un total de 7 incendios que afectaron una superficie de 1.186 hectáreas. Mientras que durante los años 2014 y 2015 tuvieron la mayor cantidad de incendios, con un total de 17, pero con una afectación mucho menor de superficie. Durante los siguientes años el número de incendios aumentó en su cantidad, pero tuvieron una menor prevalencia de superficies afectadas. Durante el periodo de 2023 al 2024 hubo un total de 12 incendios, uno de los más altos en la cronología, pero solo afectó a un total de 15,63 hectáreas.

**FIGURA 8-1: Velocidad del viento según estación del año, Padre Hurtado.**



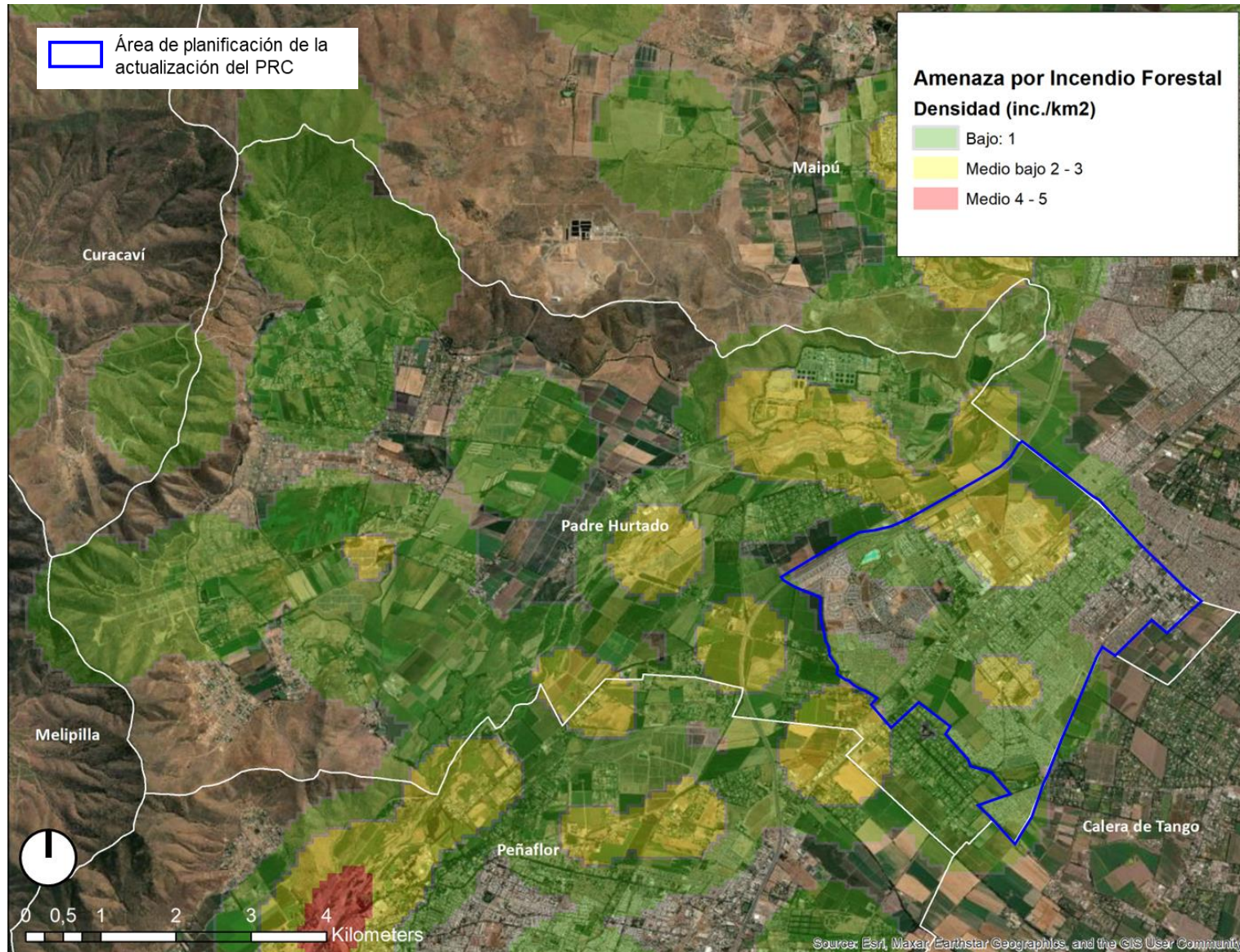
Fuente: Meteoblue ([https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/Padre\\_Hurtado\\_chile\\_3877918](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/Padre_Hurtado_chile_3877918)).

**FIGURA 8-2: Rosa de los vientos, Padre Hurtado.**



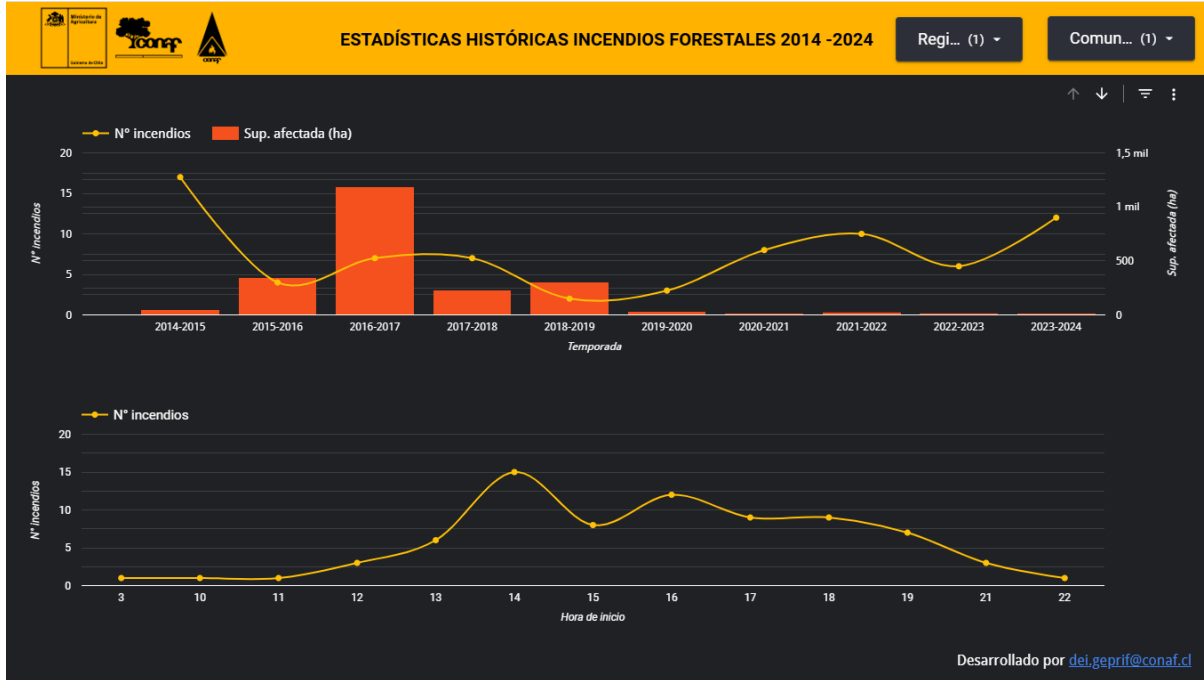
Fuente: Meteoblue ([https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/Padre\\_Hurtado\\_chile\\_3877918](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/Padre_Hurtado_chile_3877918)).

FIGURA 8-3: Amenaza de Incendios Forestales, Padre Hurtado.



Fuente: Visor Chile preparado (<https://geoportalonemi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5062b40cc3e347c8b11fd8b20a639a88>).

FIGURA 8-4: Estadísticas históricas de incendios forestales en la comuna de Padre Hurtado (2014-2024).



Fuente: CONAF ([https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/67f0cad1-336d-4992-ad69-cf821cadc41c/page/p\\_d0jl6wupdd](https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/67f0cad1-336d-4992-ad69-cf821cadc41c/page/p_d0jl6wupdd)).

A modo de ejemplo, durante diciembre del 2024, la comuna sufrió un incendio forestal en el sector del cordón montañoso que lo separa con Melipilla, en la cuesta Mallarauco, una zona con vegetación endémica, en donde 250 hectáreas fueron consumidas (ver FIGURA 8-5). Las llamas generaron una gran nube de humo, cubriendo parte de la Región Metropolitana.

FIGURA 8-5: Noticia de Incendio Forestal, Sector Mallarauco, Padre Hurtado.

Viernes 20 diciembre de 2024 | 21:54

## Alcalde de Padre Hurtado cifra en 250 las hectáreas consumidas por incendio forestal



**Antonio González**  
Periodista, Editor nocturno en BioBioChile.

Seguimos criterios de The Trust Project

Ética y transparencia de BioBioChile



CONTEXTO | Agencia UNO

3.891 visitas

### Relacionados

- Minsal recomienda "evitar salir y cerrar ventanas" ante denso humo de incendios que cubre Santiago
- Santiago se cubre de humo por incendio forestal en Padre Hurtado: Senapred emitió alerta SAE

**Suscríbete a nuestros Newsletters**

Recibe lo mejor de BioBioChile en nuestros Newsletters, entregados directamente a usted de forma gratuita

Fuente: Biobio Chile, Consultado el 04 de septiembre de 2025 en <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-metropolitana/2024/12/20/alcalde-de-padre-hurtado-cifra-en-250-las-hectareas-consumidas-por-incendio-forestal.shtml>

### **8.1.1.6 Sobre aplicación de áreas de riesgos asociados a incendios forestales.**

El análisis desarrollado en torno a la amenaza de incendios forestales en la comuna de Padre Hurtado permite concluir sobre el rol crítico que cumple la planificación urbana en la prevención y mitigación de riesgos naturales, particularmente en un contexto de creciente presión territorial y vulnerabilidad climática. Si bien los datos empíricos señalan **que no existen fundamentos técnicos suficientes para declarar áreas de riesgo por incendio dentro del límite urbano proyectado por el Plan Regulador Comunal (PRC), aplicando las causales del numeral 4. del artículo 2.1.17. de la OGUC.** Esta afirmación debe comprenderse dentro de una lógica de planificación prospectiva y no meramente reactiva, es decir, que, la ausencia actual de una amenaza significativa no debe inhibir la adopción de criterios preventivos en el diseño del crecimiento urbano, como franjas de amortiguación, restricciones al uso del suelo en zonas colindantes con vegetación combustible, o exigencias constructivas adaptadas a contextos de riesgo potencial.

El informe también pone en evidencia la necesidad de revisar y robustecer los marcos normativos que rigen la planificación territorial, como la OGUC, cuya aplicación en materia de riesgo por incendios forestales deja zonas grises en la asignación de responsabilidades y en la definición operativa de los tipos de incendios.

## **8.2 ÁREAS DE RESTRICCIÓN ASOCIADAS A REDES DE INFRAESTRUCTURA.**

### **8.2.1 Reconocimiento de zonas no edificables según la OGUC.**

Las zonas no edificables corresponden a “aquellas zonas 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”.

Así, según el artículo 2.1.17. de la OGUC, las zonas no edificables “corresponden a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gasoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente”. De esta forma, las normas que pueden definir “zonas no edificables” son:

- Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos, de acuerdo con el DECRETO 109/2017, del Min. de energía, que “Aprueba reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica” y la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, aprobada mediante Resolución Exenta N°786 de la Comisión Nacional de Energía, de 18 de diciembre de 2019 y sus modificaciones y anexos posteriores. Las normas técnicas están especificadas en el “Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 Franja y distancia seguridad”.
- Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos fijados en el Código de Aguas, D.F.L. N°1.302, de 1990.
- Territorios afectados por las superficies limitadoras de obstáculos que determine la Dirección de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos. Corresponde a las áreas en que se delimita el espacio aéreo necesario para las operaciones. La declaración de estas zonas y la delimitación del espacio aéreo se rigen por lo establecido en el Código Aeronáutico, aprobado por ley N°18.916 de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990.
- Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles, según lo previsto en la Ley General de Ferrocarriles, D.S. N°1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
- Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos, según lo normado por el D.S. N°160, de 2008, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, D.O. del 7 de julio de 2009, que aprobó el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al público de combustibles líquidos derivados del petróleo. Los aspectos de seguridad de los gasoductos se encuentran regulados en el Decreto Supremo N°280, de 2009, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, sobre Seguridad para el Transporte y Distribución de Gas de Red.

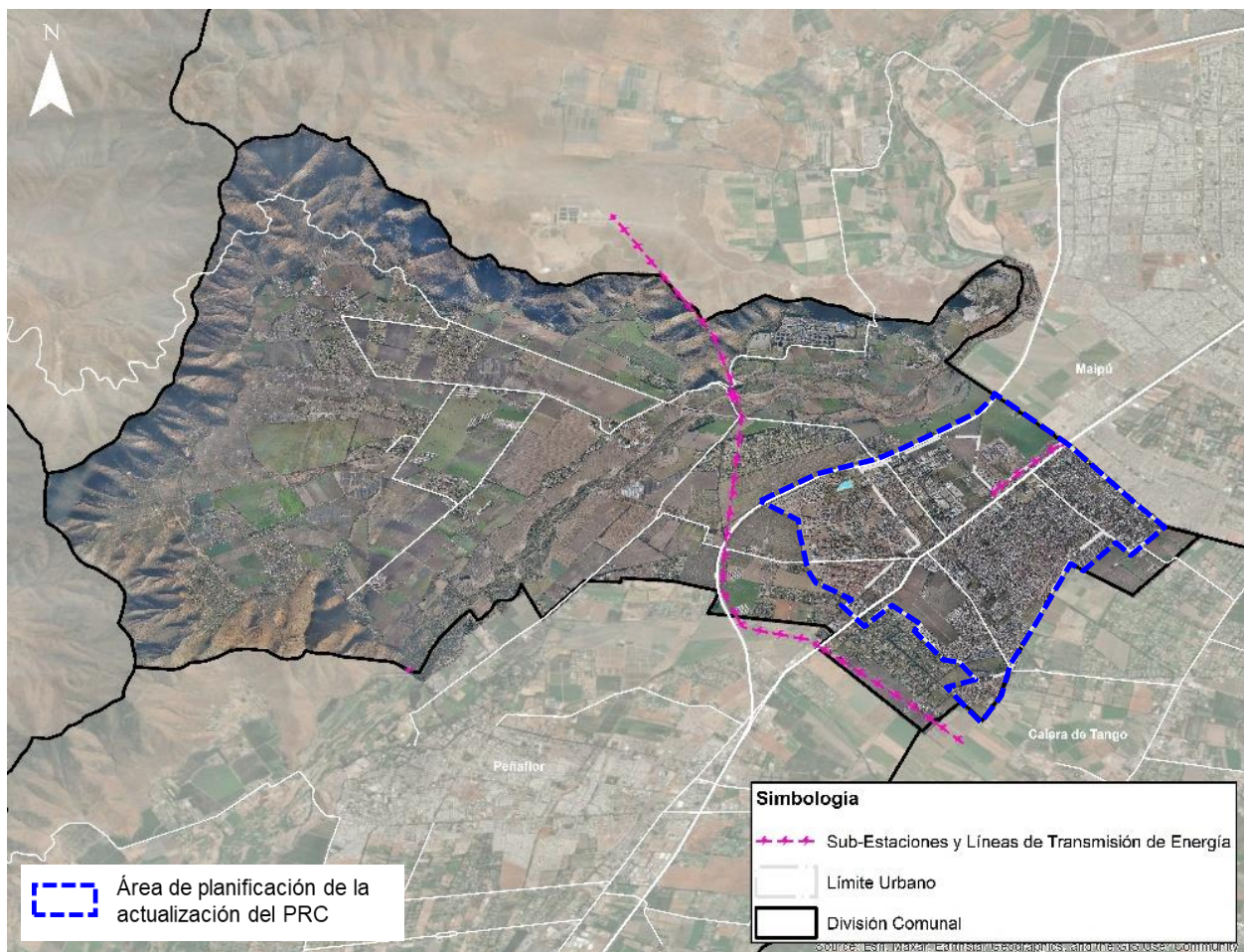
## 8.2.2 Aplicación de las redes de infraestructura a nivel comunal.

### 8.2.2.1 Líneas de transmisión eléctrica.

En el área de estudio se encuentran 2 líneas de transmisión de electricidad en la comuna y una subestación eléctrica: La línea de Alto Jahuel - Lo Aguirre, identificadas en el sitio <https://energiamaps.cne.cl/>, propiedad de TRANSELEC S.A. con una tensión de 500 KV y la línea SANTA MARTA - PADRE HURTADO con una tensión 110 KV y una longitud de 5,73km (ver FIGURA 8-6).

De acuerdo con lo informado por la Comisión Nacional de Energía, para determinar el ancho de la franja de seguridad de las líneas de alta tensión se utilizarán los métodos de cálculo establecidos por el Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 dictado por la Resolución Exenta N°33.277 de fecha 10/09/2020 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

FIGURA 8-6: Líneas de alta tensión, Comuna Padre Hurtado.



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

La determinación de la franja de resguardo de las líneas de alta tensión se basa en los artículos del Decreto 109 del año 2017, "Aprueba reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica" y la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, aprobada mediante Resolución Exenta N°786 de la Comisión Nacional de Energía, de 18 de diciembre de 2019 y sus modificaciones y anexos posteriores.

5.3 No se permite fijar líneas de transporte a edificios, salvo cuando estos sirven exclusivamente a la explotación de las instalaciones eléctricas o están destinados a una subestación de utilización.

*5.4 No podrán construirse líneas aéreas de cualquier categoría sobre edificios existentes, ni hacer construcciones debajo de las líneas aéreas existentes, salvo aquellas edificaciones propias de la explotación de las mismas instalaciones eléctricas y que no perturben el libre ejercicio de las servidumbres establecidas por la ley o el reglamento*

Respecto a la franja de seguridad para la línea de 500 KV de tensión, y aplicados lo dispuesto en “Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica” Pliego Técnico Normativo: RPTD N° 07. se tiene que la franja de resguardo es: 11,4 m mínimo de distancia a cada costado del último conductor de cada lado.

**CUADRO 8-2: Distancia de seguridad líneas de alta tensión.**

Tensión Máxima de la Línea (kV)	Distancia de Seguridad (m)
Hasta 1	1,50
Sobre 1 y hasta 36	2,00
sobre 36 y hasta 52	2,48
sobre 52 y hasta 72,5	2,63
sobre 72,5 y hasta 123	3,10
sobre 123 y hasta 145	3,30
sobre 145 y hasta 170	3,50
sobre 170 y hasta 245	4,10
sobre 245 y hasta 300	5,10
Sobre 300 y hasta 362	5,60
Sobre 362 y hasta 420	6,20
Sobre 420 y hasta 550	7,00
Sobre 550 y hasta 800	11,40

Fuente: “Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica” Pliego Técnico Normativo: RPTD N° 07.

Por otra parte, aplicando lo dispuesto en el literal b. del artículo 8.4.3. del PRMS, se tiene que la faja de resguardo es de 27 m a cada costado del eje de la línea, para una línea de una tensión de 500 KV, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

**CUADRO 8-3: Distancia mínima a cada costado del eje de la línea según tensión.**

Usos de suelo permitidos	Distancia mínima a cada costado del eje de la línea según tensión		
	Tensión (KV)	Faja de protección (m)	
		A eje	Ancho total
- Equipamiento de áreas verdes (se considerarán solo árboles frutales u ornamentales aislados que no sobrepasen a los 4 m de altura) - Vialidad	66	7 m	14 m
	110	10 m	20 m
	154	15 m	30 m
	220	20 m	40 m
	500	27 m	54 m

Fuente: Ordenanza PRMS.

Para la línea de 110 KV de tensión, y aplicados lo dispuesto en el “Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica” Pliego Técnico Normativo: RPTD N° 07, se tiene que la franja de resguardo es: 3,1 m mínimo de distancia a cada costado del último conductor de cada lado.

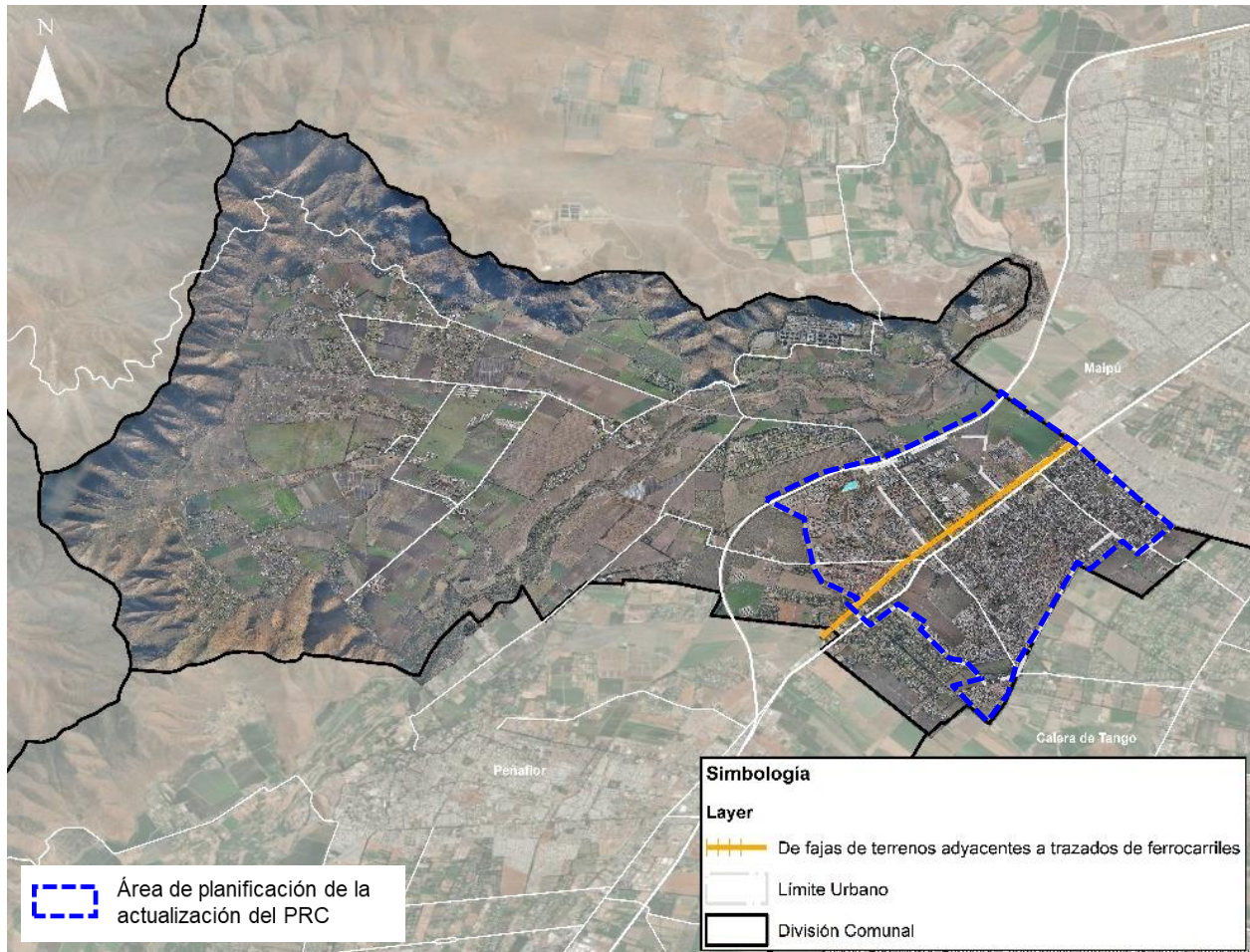
Por otra parte, aplicando lo dispuesto en el literal b. del artículo 8.4.3. del PRMS, se tiene que la faja de resguardo es de 10 m a cada costado del eje de la línea.

Dado que resulta poco viable identificar el lugar exacto del trazado del último conductor de cada lado, se opta por aplicar el criterio del PRMS; es decir 10 metros a cada lado medidos desde el eje de la línea.

### 8.2.2.2 Líneas del ferrocarril.

En la comuna se registra una línea de ferrocarril (Ramal Alameda-San Antonio) de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, trazada en forma paralela a la Av. San Alberto Hurtado (Ruta 76, ex Camino a Melipilla) (ver FIGURA 8-7).

FIGURA 8-7: Línea del Ferrocarril, Comuna Padre Hurtado.



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

Las restricciones aplicables a las construcciones colindantes con la vía férrea se encuentran establecidas en los artículos 34°, 35°, 36° y 42° del Decreto 1157 del 13 de julio de 1931 que fija el Texto Definitivos Ley General de Ferrocarriles, modificada por Ley N°18021 del 28/08/1981, que señala (textual):

Art. 34. En los terrenos colindantes con un ferrocarril y a menos de distancia de veinte metros de la vía, no es permitido:

1. Abrir zanjas, hacer excavaciones, explotar canteras o minas, hacer represas, estanques, pozos o cualquiera otra obra de la misma clase que pueda perjudicar a la solidez de la vía;
2. Construir edificios de paja o de otra materia combustible;
3. Hacer depósitos o acopios de materiales inflamables o combustibles.

Art. 35. Es igualmente prohibido, a menos de 5 metros de distancia de la vía:

1. Construir edificios o fachadas u otras obras elevadas de más de 5 metros de alto sobre el nivel de la vía;

2. Dar a los muros o cierros que se construyan, salida sobre la vía. Podrá, sin embargo, abrirse salidas, con permiso de la autoridad, en los predios que el ferrocarril partiere; y
3. Hacer depósitos o acopios de frutos, materiales de construcción o cualesquiera otros objetos.

Art. 36. Tampoco se podrá:

1. Construir muros o cierros a menos de dos metros de distancia de la vía. En ningún caso, los cierros podrán construirse de materias inflamables o combustibles;
2. Hacer plantaciones de árboles a menos de doce metros;
3. Ejercer el derecho de cortar los árboles plantados a esa distancia sin el permiso de la autoridad gubernativa del departamento, concedido con previa audiencia de la empresa. Lo mismo se observará para la corta de los árboles situados a menor distancia que existieren al tiempo de construirse el ferrocarril.

Art. 42. La distancia de que se habla en los artículos 34, 35 y 36, se medirá horizontalmente desde el pie de los taludes de terraplenes, desde la arista superior de los cortes y a falta de unos y otros, desde una línea que corra paralela y a metro y medio de distancia del riel exterior.

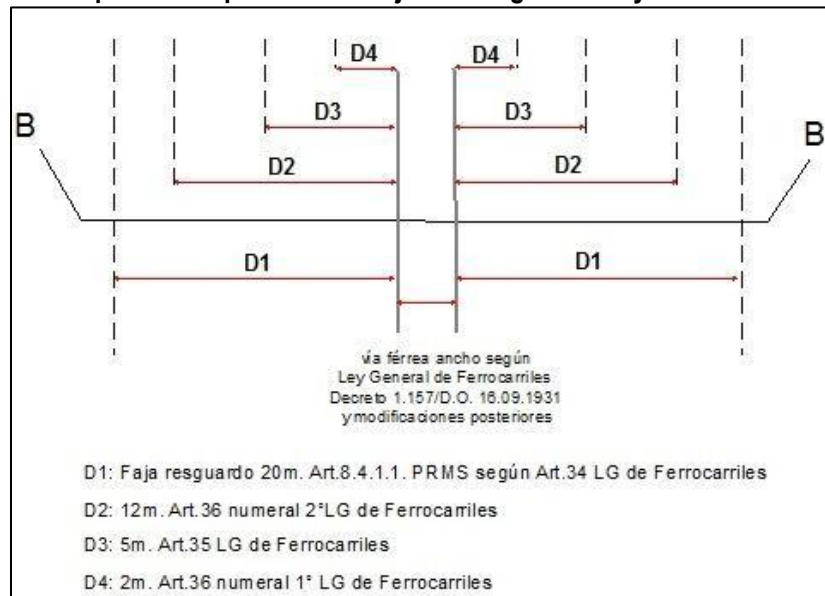
Asimismo, es dable considerar lo dispuesto en el artículo 8.4.1.1. de la ordenanza del PRMS, la cual establece (textual):

*Artículo 8.4.1.1 Fajas de Resguardo de Vía Ferroviarias*

*Corresponden a los terrenos colindantes con la vía férrea, cuyo ancho es de 20 m a ambos costados, conforme al artículo 34 de la Ley general de Ferrocarriles, en las cuales no se podrá efectuar construcciones definitivas, salvo las necesarias para la operación del propio ferrocarril.*

El área de resguardo de 20 metros, de acuerdo a la Ley General de Ferrocarriles, es trazada a partir de la línea férrea más externa. No obstante, al interior de ellas deberán entenderse las demás restricciones estipuladas en los artículos 34, 35, 36 y 42 de la misma Ley, acogidas como restricciones por el Plan Regulador Comunal.

**FIGURA 8-8: Esquema de aplicación de fajas de resguardo Ley General de Ferrocarriles.**



Fuente: SEREMI MINVU Región Metropolitana.

**D1:** Corresponde a la Faja de Resguardo de 20 (m), según el Artículo 8.4.1.1. del PRMS y el Artículo 34 de la Ley General de Ferrocarriles.

El Artículo 34 de la Ley General de Ferrocarriles menciona que “en los terrenos colindantes con un ferrocarril y a menos de una distancia de veinte metros de la vía, no es permitido:

1. Abrir zanjas, hacer excavaciones, explotar canteras o minas, hacer represas, estanques, pozos o cualquiera otra obra de la misma clase que pueda perjudicar a la solidez de la vía;

2. Construir edificios de paja o de otra materia combustible; y
3. Hacer depósitos o acopios de materiales inflamables o combustibles.

Asimismo, el Artículo 8.4.1.1. Fajas de Resguardo de Vías Ferroviarias del PRMS menciona que, en terrenos colindantes con la vía férrea, cuyo ancho es de 20 m a ambos costados, “no se podrá efectuar construcciones definitivas, salvo las necesarias para la operación del propio ferrocarril”.

**D2:** Corresponde a la Faja de Resguardo de 12 (m), según el numeral 2° del Artículo 36 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que “no se podrá hacer plantaciones de árboles”.

**D3:** Corresponde a la Faja de Resguardo de 5 (m), según el Artículo 35 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que está prohibido:

1. Construir edificios o fachadas u otras obras elevadas de más de 5 metros de alto sobre el nivel de la vía;
2. Dar a los muros o cierros que se construyan, salida sobre la vía. Podrá, sin embargo, abrirse salidas, con permiso de la autoridad, en los predios que el ferrocarril partiere; y
3. Hacer depósitos o acopios de frutos, materiales de construcción o cualesquiera otros objetos.

**D4:** Corresponde a la Faja de Resguardo de 2 (m), según el numeral 1° del Artículo 36 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que no se podrá “construir muros o cierros”.

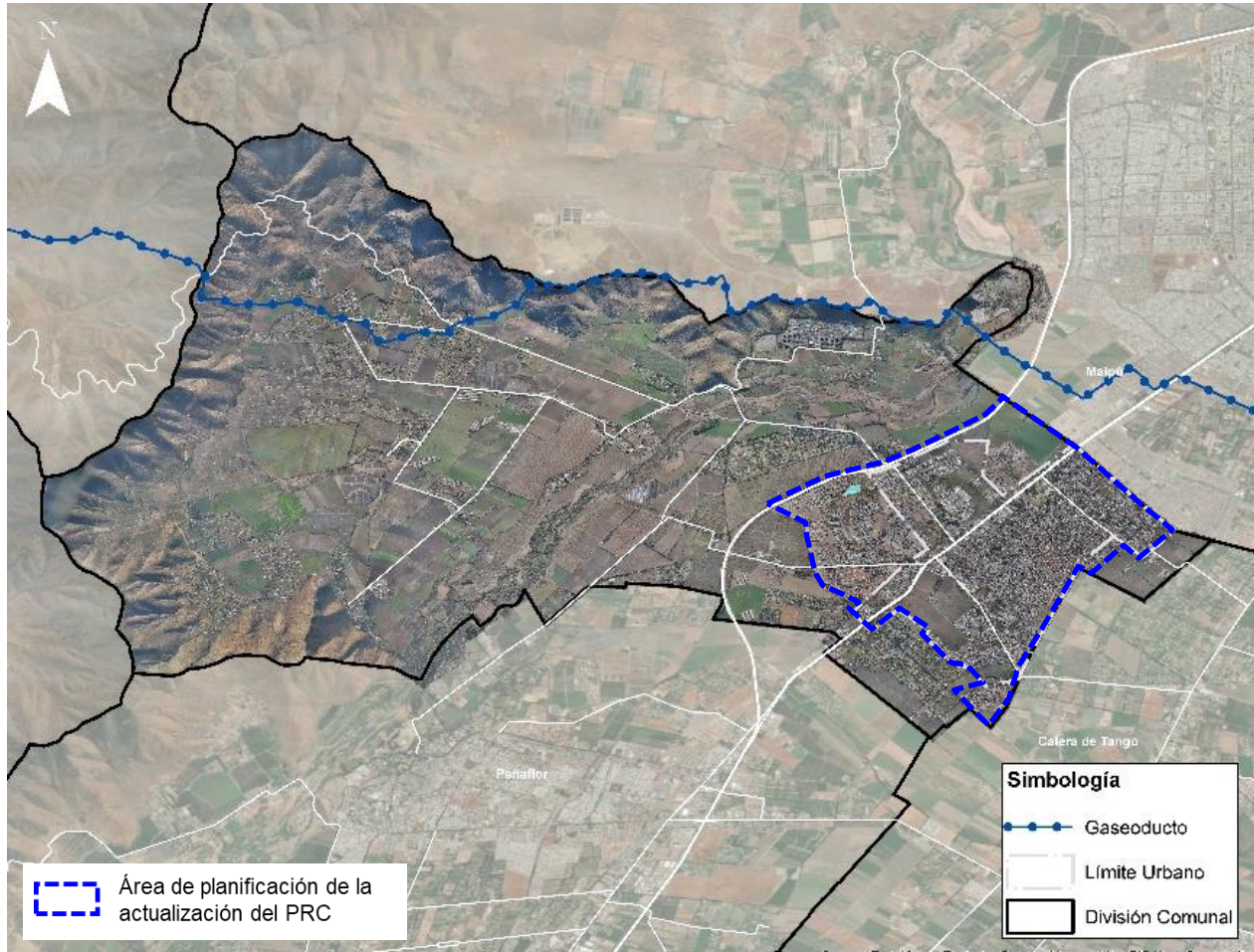
Todas las distancias se miden de acuerdo al Artículo 42 de la Ley General de Ferrocarriles, en el cual se menciona que “la distancia de que se habla en los artículos 34, 35 y 36, se medirá horizontalmente desde el pie de los taludes de terraplenes, desde la arista superior de los cortes y a falta de unos y otros, desde una línea que corra paralela y a metro y medio de distancia del riel exterior”.

### **8.2.2.3 Gaseoductos y oleoductos.**

En el interior de la comuna de Padre Hurtado se presentan las siguientes redes de combustibles:

- Gaseoducto de gas natural SAN BERNARDO QUILLOTA 30 PULG. (CHENA-RATONES), de propiedad de ELECTROGAS, con un diámetro de 609,60mm y una longitud de 111,19 km (ver FIGURA 8-9). Los aspectos de seguridad de los gasoductos se encuentran regulados en el Decreto Supremo N°280, de 2009, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, sobre Seguridad para el Transporte y Distribución de Gas de Red.

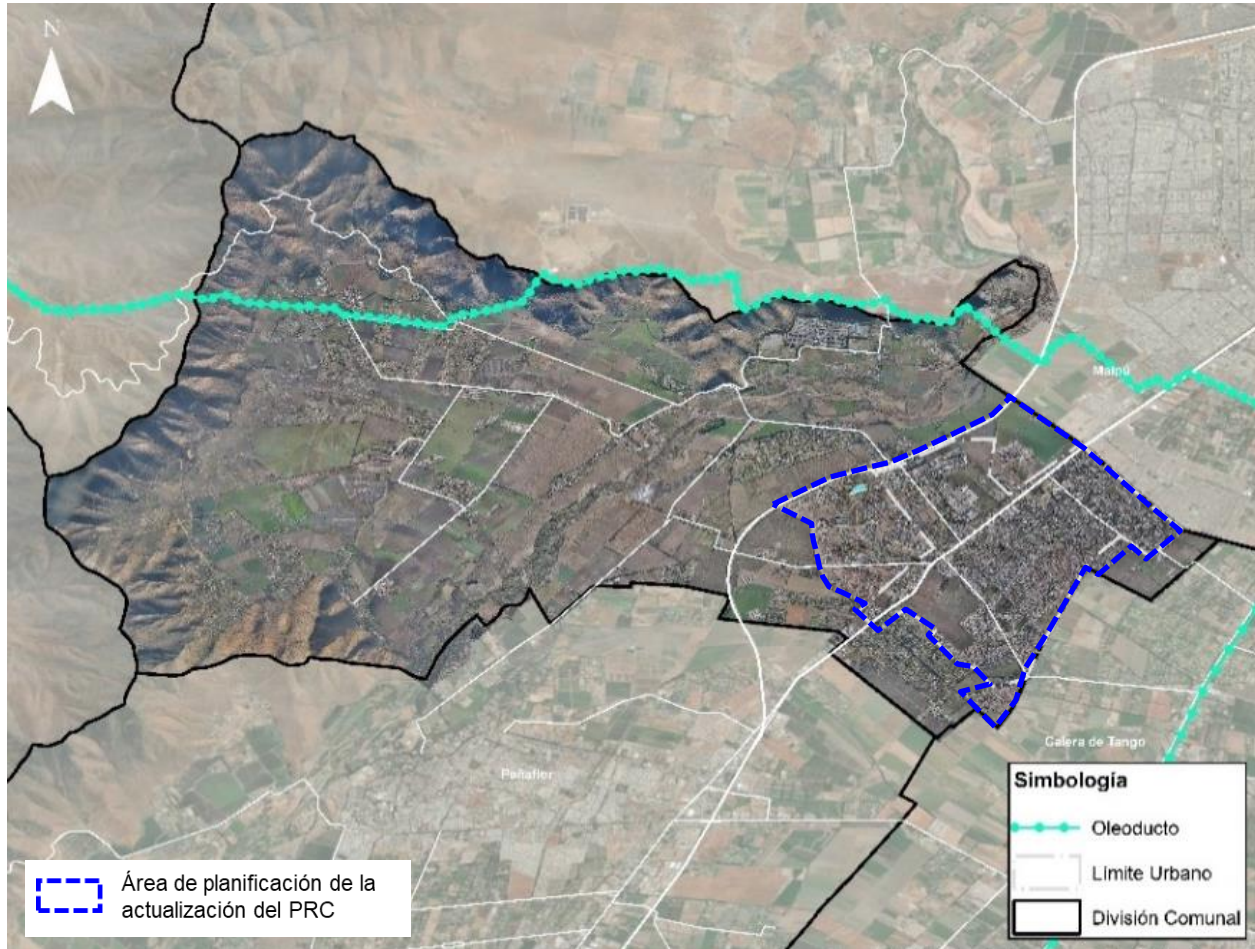
**FIGURA 8-9: Gaseoducto de gas natural, Comuna Padre Hurtado.**



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

- Oleoducto de trazado CONCON MAIPÚ 16 PULGADAS con un diámetro de 406 mm y una longitud de 134 km propiedad de SONACOL (ver FIGURA 8-10). Las restricciones aplicables a las construcciones de resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos, según lo normado por el D.S. N°160, de 2008, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, D.O. del 7 de julio de 2009.

**FIGURA 8-10: Oleoducto, Comuna Padre Hurtado.**



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

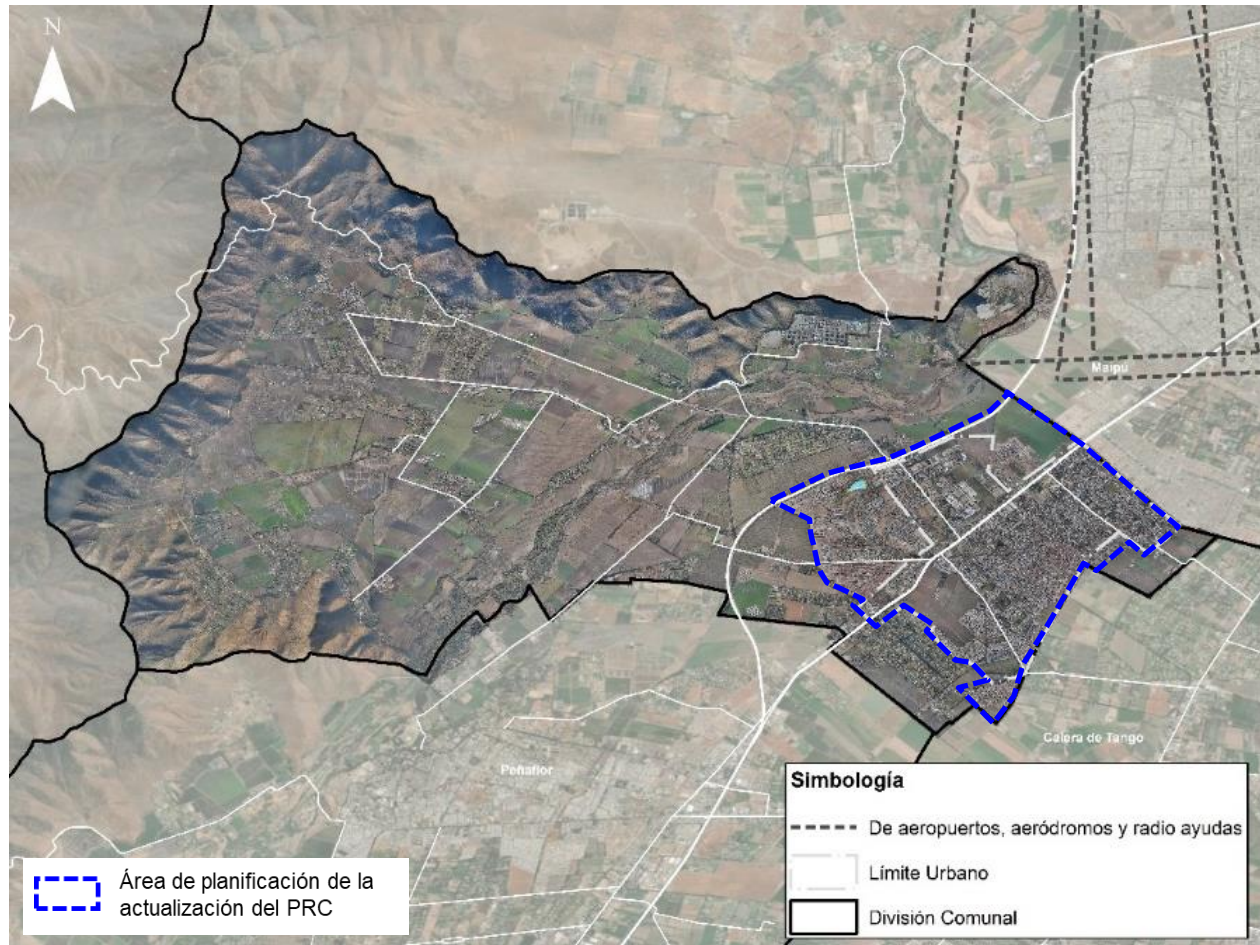
#### **8.2.2.4 Área de resguardo aeropuerto.**

En sector norte de la Comuna de Padre Hurtado, se encuentra afectado por el Área de Resguardo de Infraestructura de Transporte y Comunicaciones del Aeropuerto Comodoro Arturo Merino Benites, en su Área c (Superficie Horizontal Interna), tal como se muestra en la FIGURA 8-11.

El cuerpo legal que establece la zona de protección que afecta una pequeña porción de la comuna de Padre Hurtado es el Decreto N°173 del Ministerio de Defensa Nacional, D.O. 19/02/2004, a través del cual se aprobó Plano PP-03-01 (escala 1:20.000), confeccionado por la Dirección de Aeronáutica Civil que determinó las Zonas de protección para el aeropuerto "Arturo Merino Benítez y sus radioayudas".

Las zonas de protección a la navegación aérea quedan incorporadas automáticamente a los "Planos Reguladores Urbanos". El Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) se refiere a esta materia en su artículo 8.4.1.3. de su ordenanza.

FIGURA 8-11: Área de resguardo del Aeropuerto, Comuna Padre Hurtado.



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

#### 8.2.2.5 Canales de regadío.

La comuna de Padre Hurtado por la presencia de actividades agrícolas, posee una red de canales en casi todo su territorio, tanto en su área urbana y rural (ver FIGURA 8-12).

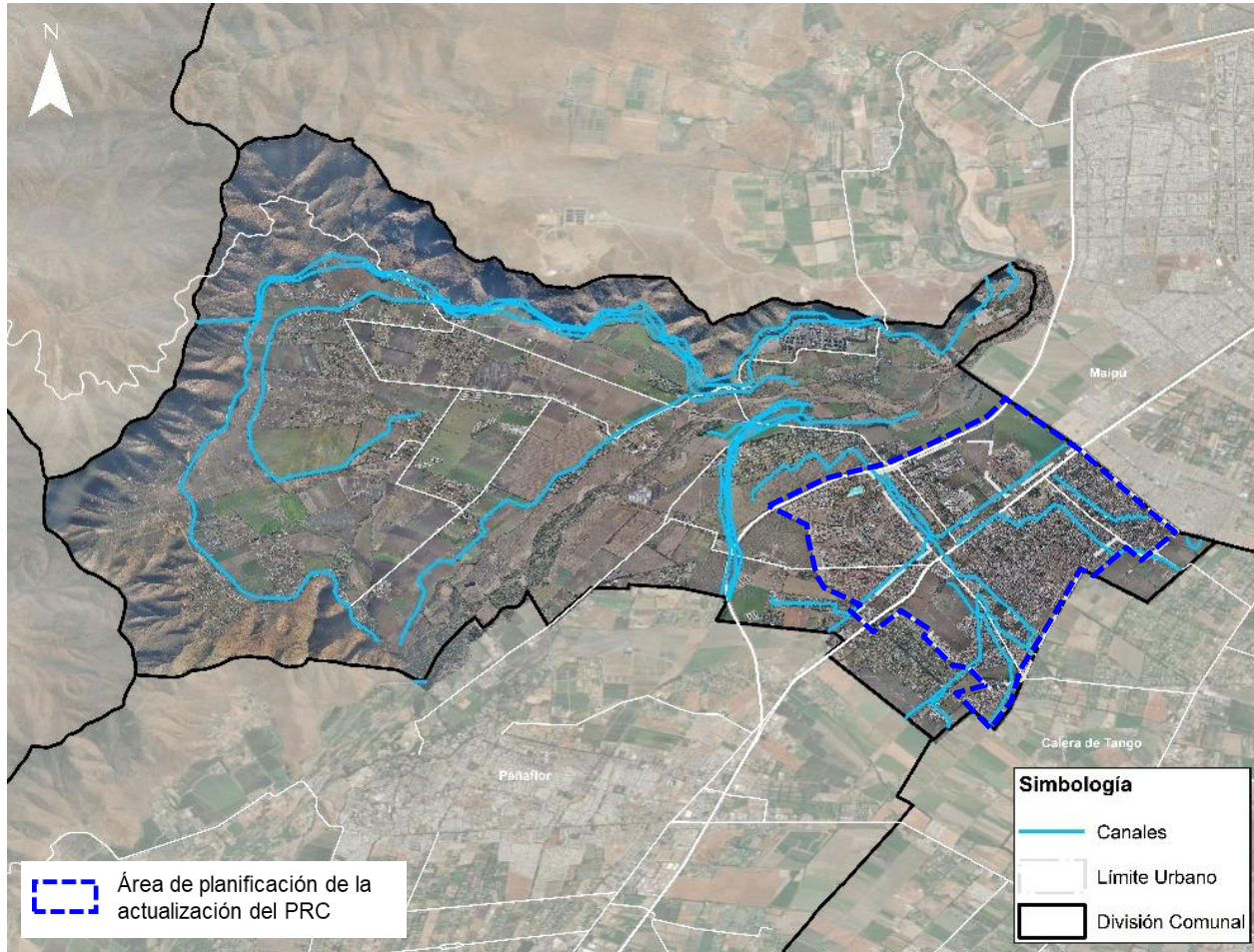
El literal c. Cauces artificiales del artículo 8.2.1.1. de la Ordenanza del PRMS, referido a Áreas de altos riesgos para los asentamientos humanos por inundación, señala:

*c. Cauces Artificiales:*

*Corresponden a obras de canalización de aguas. Los proyectos respectivos deberán consultar fajas de protección a ambos costados del borde del cauce, según lo establezca el organismo competente para cada caso en particular. En los Planes Reguladores Comunales se deberá graficar estos cauces artificiales y sus fajas de restricción y establecer los usos de suelo para estas últimas. En el caso que esos cauces se entuben, el uso de suelo será el de área verde, siempre que no se incorporen bajo la infraestructura vial.*

La literatura indica que **no existen regulaciones vigentes que determinen alguna cuantía de la faja de protección a que hace mención el citado artículo del PRMS. El Código de Aguas refiere solamente a la accesibilidad de las servidumbres, pero no establece anchos mínimos ni fajas de protección.**

**FIGURA 8-12: Canales de regadío, Comuna Padre Hurtado.**



Fuente: IDE ENERGIA CHILE.

En este caso, no es posible aplicar fajas específicas de resguardo asociadas a los canales de regadío, debido a la ausencia de disposiciones sectoriales específicas aplicables, que pueden asociarse a zonas no edificables, por parte de un instrumento de planificación territorial, conforme a lo dispuesto por el artículo 2.1.17. de la OGUC. Sin perjuicio de lo anterior, es recomendable aplicar otras medidas de diseño por parte del PRC, en cuanto a su propuesta de zonificación y de espacios públicos, con el fin de facilitar su protección y acceso para su mantención. Lo anterior es posible a través de lo siguiente:

- Reconocimiento de los canales registrados en la cartografía base del Estudio de Actualización del PRC de Padre Hurtado, excluyendo aquellos que se encuentren entubados, o bien, se encuentren incorporados en proyectos de loteos.
- Definición de zonas de usos de áreas verdes en las áreas colindantes a los canales, en los casos donde sea posible, sin afectar construcciones existentes, además de los sectores destinados al crecimiento urbano.
- Incorporación de los canales de regadío en el interior de las vías proyectadas por parte del Plan, cuando esto sea posible, con el fin de facilitar su futura mantención.

#### **8.2.2.6 Síntesis de Aplicación de redes de infraestructura.**

Se concluye que existen seis tipos de infraestructura peligrosa que generan áreas de resguardo definidas en el artículo 2.1.17. de la OGUC, y son las siguientes:

- Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos.
- Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles.

- Área de Resguardo de Infraestructura de Transporte y Comunicaciones del Aeropuerto Comodoro Arturo Merino Benites.
- Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos.
- Resguardo de las infraestructuras energéticas de gasoductos.
- Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos.

El análisis de las áreas restringidas al desarrollo urbano en la comuna de Padre Hurtado revela la presencia de infraestructuras críticas que deben ser consideradas en los instrumentos de planificación territorial. A través de la aplicación del artículo 2.1.17. de la OGUC, se identifican áreas de resguardo —como líneas de alta tensión, gasoductos, ferrocarriles, canales de riego y zonas de protección aeroportuaria— que imponen limitaciones concretas a la expansión urbana a nivel comunal. .

### 8.2.3 Aplicación de las redes de infraestructura a nivel urbano.

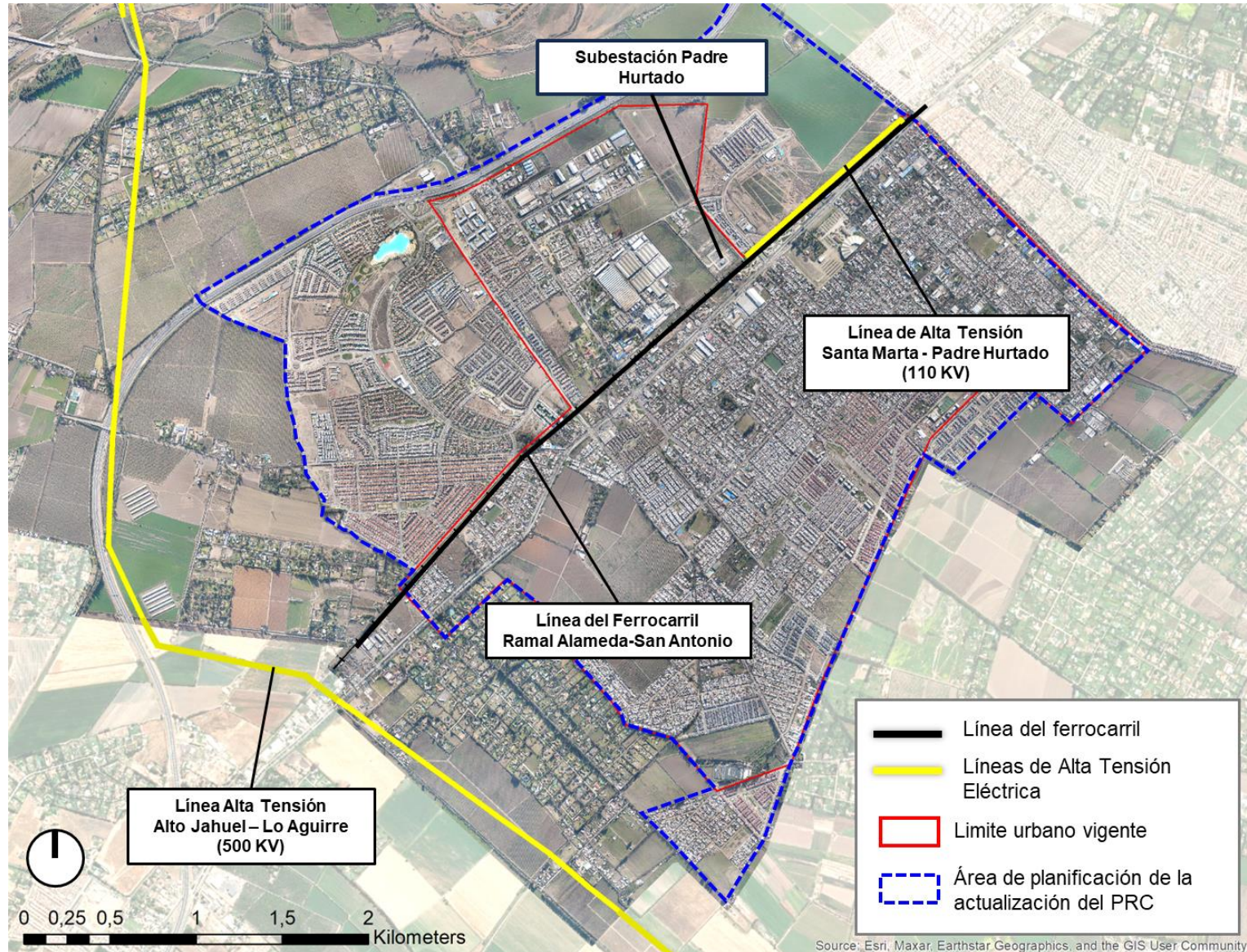
En el interior del área de planificación de la actualización del PRC de Padre Hurtado, es posible identificar dos redes de infraestructura, bajo las condiciones expuestas en los puntos anteriores, que ameritan su definición como zonas no edificables, conforme a lo establecido por el artículo 2.1.17. de la OGUC. Estas corresponde a las siguientes (ver FIGURA 8-13):

- Línea del Ferrocarril Ramal Alameda-San Antonio.
- Línea de transmisión eléctrica Santa Marta-Padre Hurtado de 110 KV, que llega a la Subestación Eléctrica Padre Hurtado. En el área rural existe una segunda línea de alta tensión, correspondiente Alto Jahuel - Lo Aguirre, de 500 KV, que se encuentra fuera del área de planificación.

En definitiva, las zonas no edificables reconocidas a ser reconocidas por el Plan, corresponden a las siguientes, junto con la aplicación de sus normas sectoriales aplicables:

TIPO DE ZONA	ZONA	DENOMINACIÓN
Resguardo de infraestructura transportes y comunicaciones	De fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles.	Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles, según lo previsto en la Ley General de Ferrocarriles, D.S. N° 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Resguardo de Infraestructura Energética	Sub-Estaciones y Líneas de Transmisión de Energía	Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos, de acuerdo al Pliego Técnico Normativo RPTD N°07 dictado por la Resolución Exenta N°33.277 de fecha 10/09/2020 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

FIGURA 8-13: Aplicación de las redes de infraestructura a nivel urbano.



Fuente: Elaboración propia.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J., & Villarroel, P. (2003). *Peligro de remociones en masa e inundaciones de 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.
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., & Kausel, E. (2010). The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile). *Tectonics*, (29). doi:doi:10.1029/2008TC002427
- Coloma, F., Valin, X., Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Salazar, E., & N. Ducea, M. (Mayo de 2017). Geochemistry of Permian to Triassic igneous rocks from northern Chile (28°-30°15'S): Implications on the dynamics of the proto-Andean margin. *Andean Geology*, 44(2), 147-178.
- 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. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1-80.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., & Stein, S. (1994). Effects of recent revisions of the geomagnetic reversal time scale on estimates on current plate motion. *Geophysical Research Letters*, 21(20), pp.2191-2194.
- Departamento de Geografía Universidad de Chile. (5 de Septiembre de 2019). *IDE Chile*. Recuperado el Consultado el 14/10/2023, de <https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000>
- Díez-Herrero, A., Lain-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.
- Flores, F., & Jara, G. (2018). *Peligros del volcán Tupungatito, región Metropolitana de Santiago*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica, Serie Geológica Ambiental.
- Fock, A. (2005). *Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de Los Andes de Chile central entre los 33° y los 34°S*. Universidad de Chile, Tesis, Departamento de Geología, Santiago.
- 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.
- GORE. (2013). *Estudio "Riesgo potencial por amenazas derivadas de procesos naturales, en los principales asentamientos humanos de la Región Metropolitana de Santiago"*. Santiago: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T., & Mendis, P. (2016). An assessment of the effectiveness of tree-based models for multi-variate flood damage assessment in Australia. *Water*, v. 8(n. 282), p. 1-18.
- Hauser, A. (1985). Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista Geológica de Chile*, 25-26, 125-133.
- Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, 17(024016), 11.
- Hayes, G., Wald, D., & Johnson, R. (2012). Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries. *Journal of Geophysical Research*, B1302.

- Hungr, O., Corominas, J., & Eberhardt, E. (2005). State of the Art Paper #4, Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocit. En *Landslide Risk Management*. London: Taylor and Francis Group.
- IMPH. (2022). *Plan de Desarrollo Comunal 2022-2027*. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, Ilustre Municipalidad de Padre Hurtado, Padre Hurtado.
- 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.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwartz, J., . . . Thieken, H. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*(n. 9), p. 1679-1692.
- Lara, L. (2004). *Peligros volcánicos y fallas geológicas de la Región Metropolitana de Santiago*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado, IR-04-24, 68 p., 3 mapas escala 1:250.000. Santiago.: In SERNAGEOMIN. 2004. Geología para el ordenamiento territorial de la Región Metropolitana de Santiago.
- Maldonado, V., Contreras, M., & Melnick, D. (2021). a comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1:25,000 scale. *Nature Scientific Data*, 8(20), 1-13.
- Maldonado, V., Contreras, M., & Melnick, D. (2021). A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1:25,000 scale. *Sci. Data*, 8, 20. doi:doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00802-4>
- Merz, B., Kreibich, H., & Lall, U. (2013). Multi-variate flood damage assessment: a tree-bases data mining approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 13, p. 53-64.
- MOP. (2014). *Inventario de Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas de Chile*. Informe Técnico, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago.
- MOP-DOH. (2008). *Construcción de obras fluviales río Mapocho, sector rural, región Metropolitana*. Declaración de Impacto Ambiental, Anexo 2: Línea de base ambiental, Santiago.
- 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.
- Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Lucassen, F., Ducea, M., Ciocca, I., . . . Kasemann, S. (2020). Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*, 202-227.
- Olson, P., Legg, N., Abbe, T., Reinhart, M., & Radloff, J. (2014). *A methodology for delineating planning-level channel migration zones (No. 14-06-025)*. Dept. of Ecology., Washington (State).
- 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.
- Orozco, G., Amigo, A., Bertín, D., & Lara, L. (2013). *Peligros volcánicos de la zona central de Chile, Regiones Metropolitana, del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y del Biobío*. 1 mapa en 3 hojas escala 1:250.000. 1 mapa escala 1:2.000.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental.
- Pain, C. (1986). *Scarp Retreat and Slope Development Near Picton, New South Wales, Australia*. Braunschewig.
- Petit-Breuilh, M. (2004). *Desastres naturales y ocupación del territorio en Hispanoamérica (siglos XVI al XX)*. España: Universidad de Huelva.
- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), 1511-1524.
- Piracés, R. (1976). *Geología de la Cordillera de la Costa entre Catapilco y Limache, Región de Aconcagua*. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.
- 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.

- Qarinur, M. (2015). Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement. *Journal of the Civil Engineering Forum*, Vol. 1(No. 1).
- Rauld, R. (2011). *Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33°S)*. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- RNVV-Sernageomin. (2020). *Ranking de Riesgo Específico de Volcanes Activos de Chile*. Recuperado el Junio de 2022, de <https://rnvv.sernageomin.cl/que-es-ranking-de-riesgo/>
- Sahady, A., & Ferrada, M. (2019). Destrucción del patrimonio arquitectónico y modificaciones normativas en contexto sísmico. El caso del terremoto-tsunami de Cobquecura, Chile 2010. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. Barcelona - Santiago de Chile.
- Scholz, C. (1990). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.
- Sellés, D., & Gana, P. (2001). *Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal, regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Escala 1:100.000*. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica., Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- Sellés, D., & Gana, P. (2001). *Geología del Área Talagante-San Francisco de Mostazal. Regiones Metropolitana y del Libertador Geenal Bernardo O'Higgins. Escala 1:00.000*. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- SENAPRED. (2023). *Puntos críticos - Programa Invierno*. Obtenido de <https://geoportalonemi.maps.arcgis.com/apps/dashboards/493456845a614ababf0222be36e445b>
- SEREMI. (2020). *Informe de riesgos climáticos para la Región Metropolitana, Informe Final*. Santiago: Subsecretaría del Medio Ambiente, SEREMI del Medio Ambiente Región Metropolitana.
- SEREMI MINVU. (2006). *Plan Regulador Metropolitano de Santiago, Modificación PRMS 73*. Memoria explicativa, Santiago.
- SERNAGEOMIN. (2015). *Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago.
- Silva, C., & Bertin, D. (2012). *Mapa preliminar de peligros volcánicos Volcán Tupungatito*. Informe Inédito, Programa de Riesgo Volcánico: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Silva, C., Orozco, G., & Moreno, H. (2012). *Mapa preliminar de peligros volcánicos Complejo Volcánico San José*. Informe Inédito, Programa de Riesgo Volcánico: Servicio Nacional de Geología y Minería, .
- 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 Soth 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.
- SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*. Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.
- Thomas, H. (1958). Geología de la Cordillera de la Costa entre el valle de La Ligua y la cuesta de Barriga. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 2, 86 p, 2 mapas escala 1:50.000*.
- Tichelaar, B., & Ruff, L. (1993). Depth of Seismic Coupling Along Subduction Zones. *Journal of Geophysical Research*, 98(B2), 2017-20137.
- 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.
- Vargas, G., Klinger, Y., Rockwell, T., Forman, S., Rebolledo, S., Baize, S., . . . Armijo, R. (2014). Probing large intraplate earthquakes at the west flank of the Andes. *Geology*, 42(12), 1083–12.
- Vargas, P. (2022). *Formación de carbonatos palustres en la cuenca de Santiago y su implicancia paleoambiental*. Memoria para optar al título de Geóloga, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago de Chile.
- 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.
- Von Igel, B., Naranjo, J., & Wall, R. (2004). *Respuesta sísmica de la Región Metropolitana de Santiago*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-04-25, 1 mapa escala 1:250.000.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO PARA EFECTOS DE IMPRESIÓN

## 10 APÉNDICES

### 10.1 DEFINICIONES DE PELIGRO Y RIESGO USADAS EN ESTE ESTUDIO.

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

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

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

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

Los **elementos expuestos** pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc., que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona (Gonzalez de Vallejo, 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; Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002; JTC-1, 2008).

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

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

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 10-1 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.

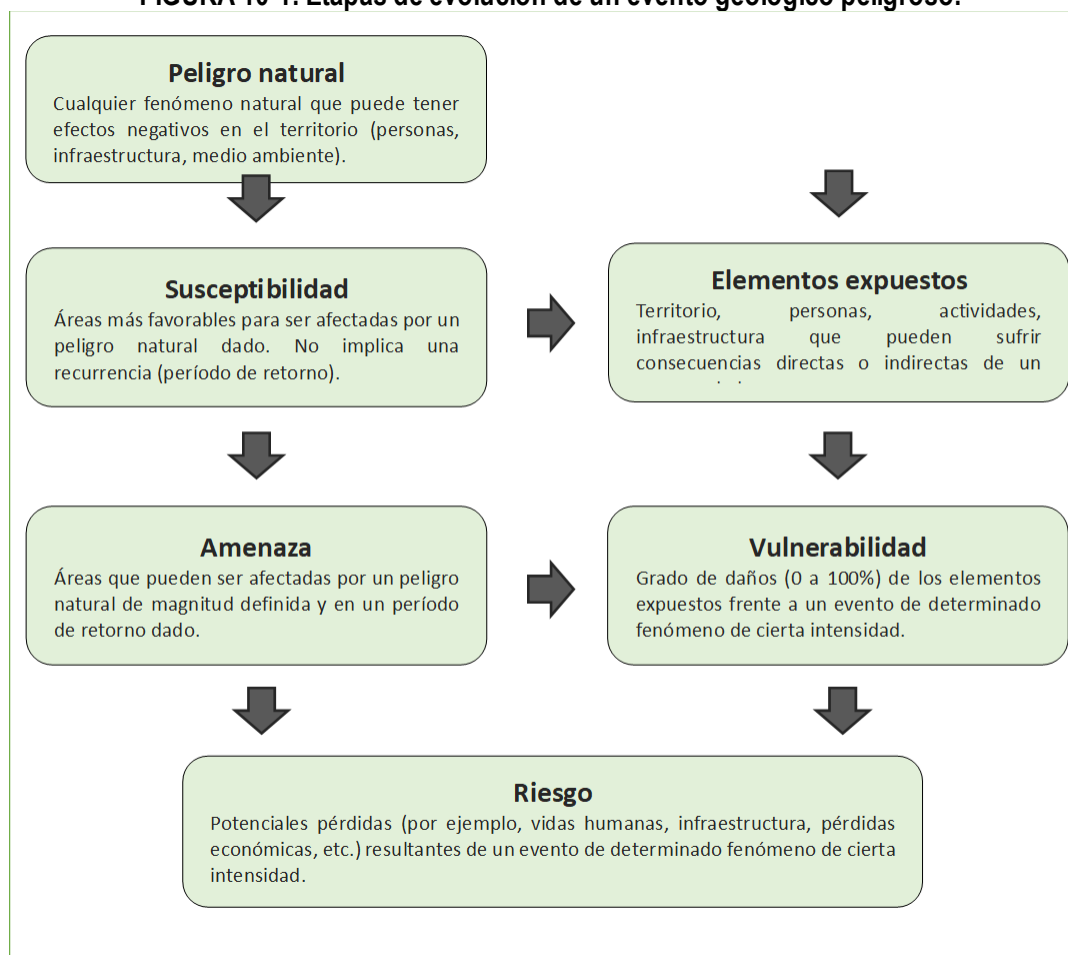
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que 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 10-1: Etapas de evolución de un evento geológico peligroso.**



Fuente: Elaboración propia basada en Varnes (1984).

## 10.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS.

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

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

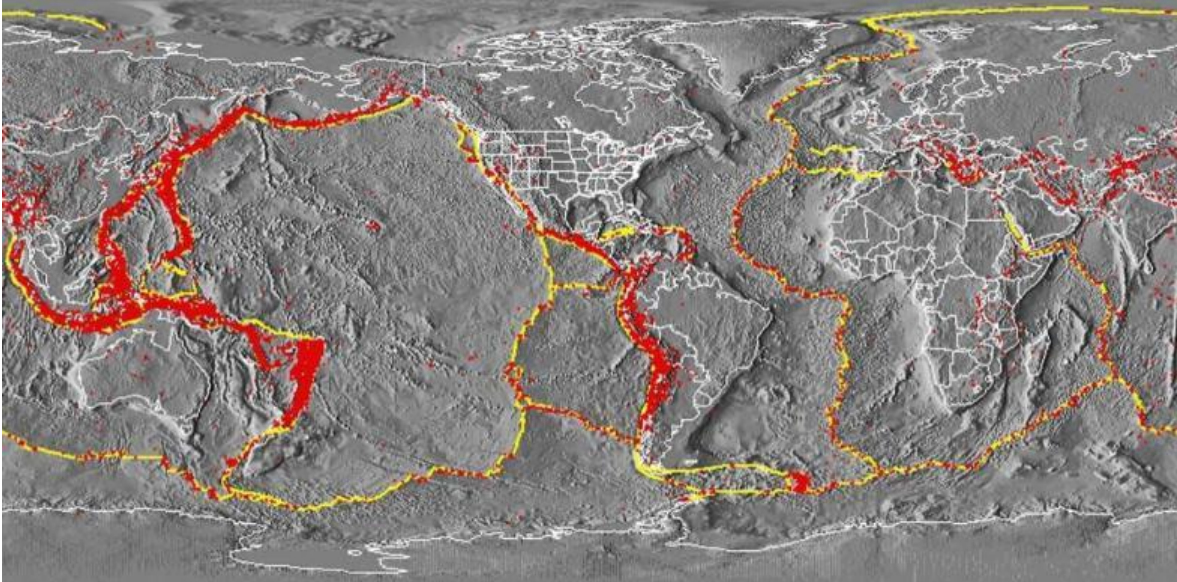
### 10.2.1 Procesos internos o endógenos de la Tierra.

#### 10.2.1.1 Sismicidad.

##### 10.2.1.1.1 Tipos de sismos en Chile.

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca. En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La FIGURA 10-2 refleja la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra, además, cómo Chile se encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

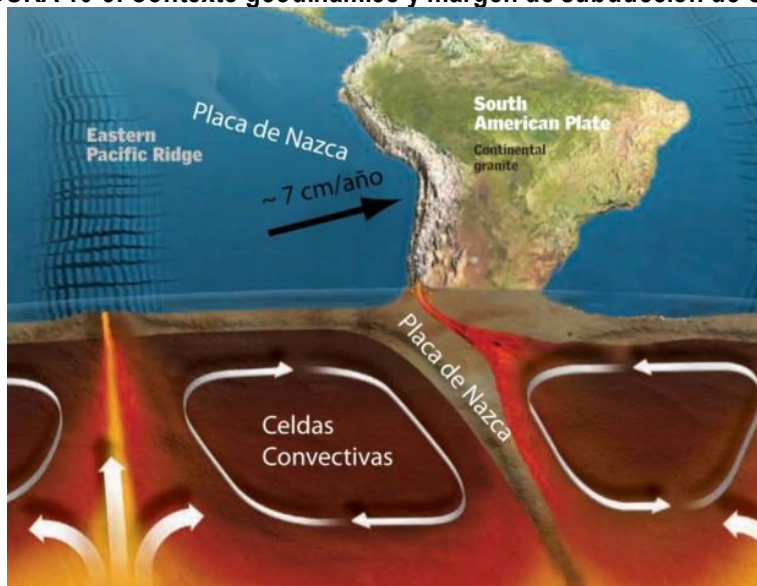
**FIGURA 10-2: Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud mayor que 5. Nótese cómo la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo.**



Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets C. , 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 10-3). Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interfaz 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 10-3: Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile.**



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

El sistema de subducción, además de acumular energía que se libera por sismos de interplaca, genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas. El método para descargar la energía acumulada es a través de diferentes tipos de sismos, ejemplificados en la FIGURA 10-4, que corresponde a:

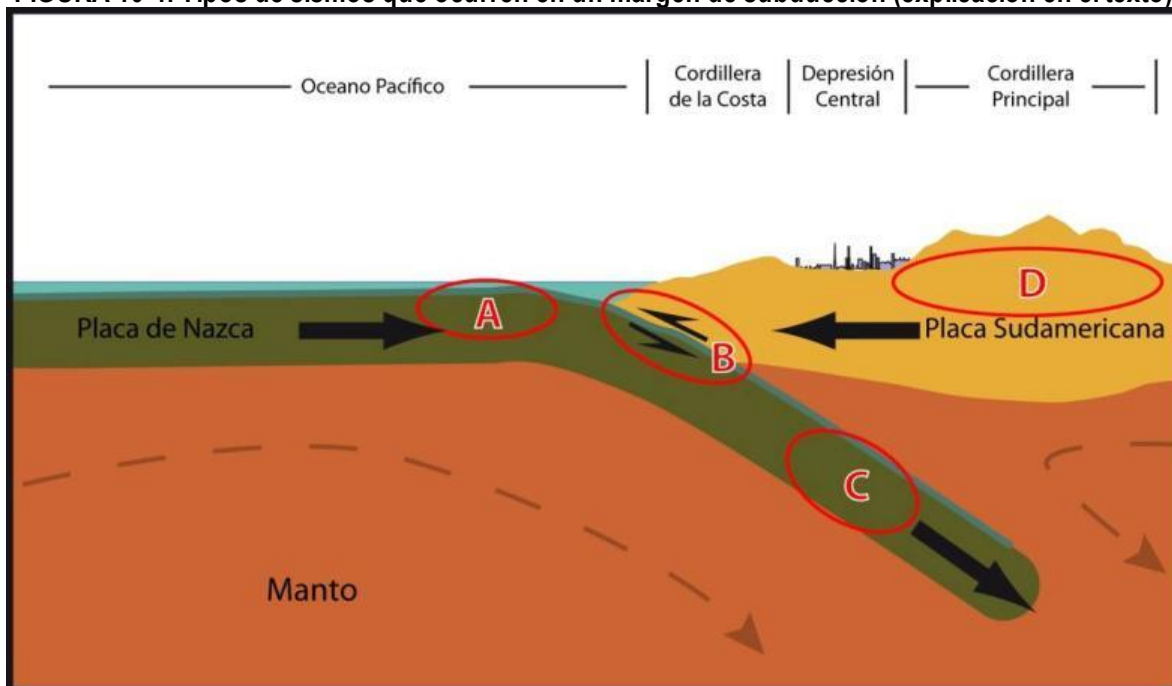
Zona A: Sismos “Costa afuera”, que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a  $M_w = 6$ , prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas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

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

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

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

**FIGURA 10-4: Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto).**



Fuente: Elaboración propia (2021).

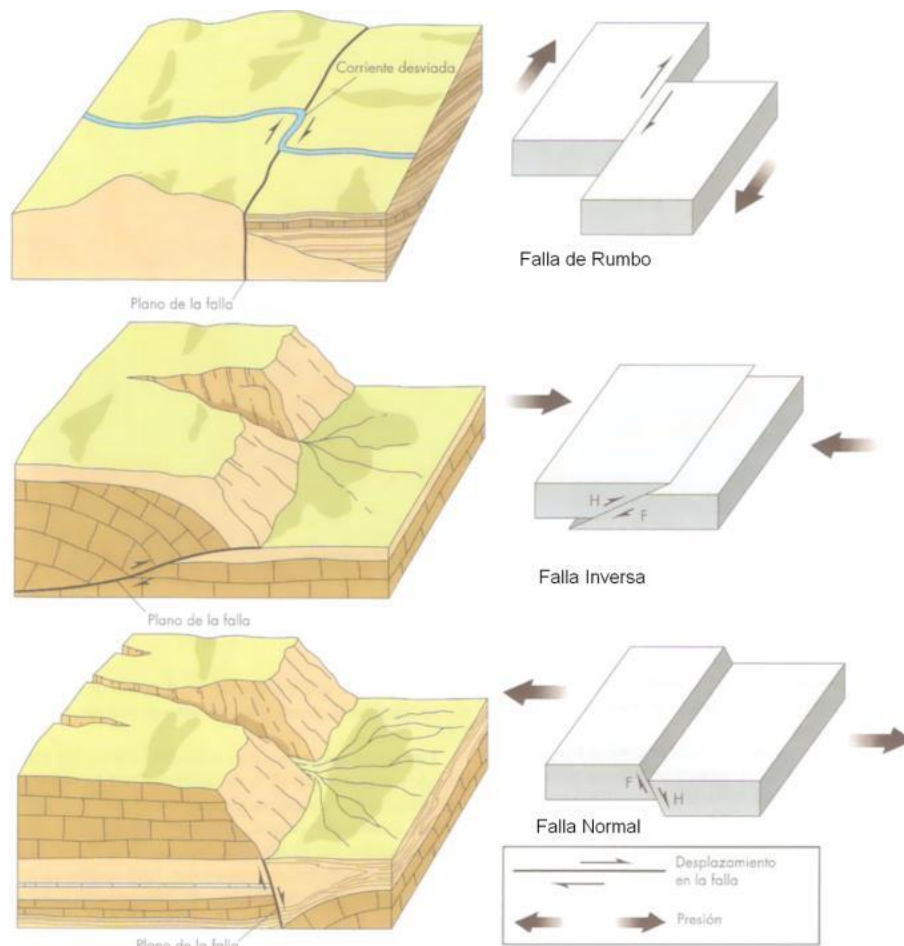
#### 10.2.1.1.2 Mecanismos de daños asociados a los sismos.

Independientemente de la ubicación particular de uno u otro sismo, todos ellos corresponden a un desplazamiento violento paralelo al plano de falla que libera la energía acumulada en la interfaz. La energía que se acumula producto de la convergencia de placas, tanto en el contacto interplaca como en la corteza, en algún momento supera la resistencia de las rocas. En dicho instante se produce una ruptura que se propaga a través de un plano de falla, el que, de acuerdo con su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (FIGURA 10-5). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

Las ondas que transmiten la energía sísmica se agrupan en dos tipos principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las primeras se dividen en ondas P (compresivas) y ondas S (ondas de corte o de cizalle), mientras que las segundas se dividen en ondas Rayleigh y Love (FIGURA 10-6). En las ondas P el movimiento de partículas se produce en forma paralela al de la propagación de la onda y en las ondas S es en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh tienen un movimiento oscilatorio elíptico y las ondas Love tienen un movimiento oscilatorio horizontal. Con respecto a su impacto en superficie, debido a que las ondas S transportan la mayor cantidad de energía y a que las ondas superficiales tienden a tener movimientos de mayor frecuencia, ambos tipos corresponden a los de carácter más destructivo del movimiento sísmico. Aun así, a medida que las ondas se alejan de la fuente van perdiendo o disipando energía, siendo cada vez menos destructivas, fenómeno que se conoce como atenuación.

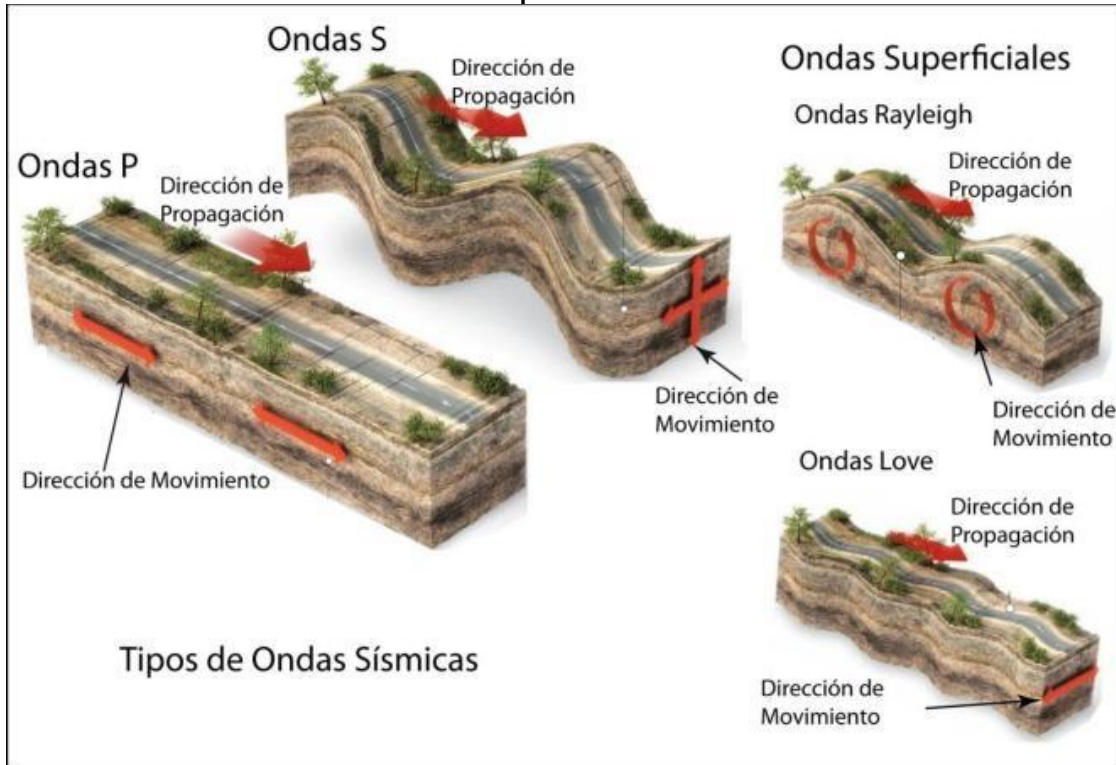
Para medir los sismos se utilizan, principalmente, dos escalas: *magnitud* e *intensidad*. La *magnitud* es una medida única y objetiva, que normalmente se relaciona con la escala de RICHTER ( $M_s$ ). Actualmente para grandes sismos se utiliza la escala de magnitud de momento ( $M_w$ ) que se calcula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

FIGURA 10-5: Tipos de falla y esfuerzos asociados.



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

FIGURA 10-6: Tipos de ondas sísmicas.

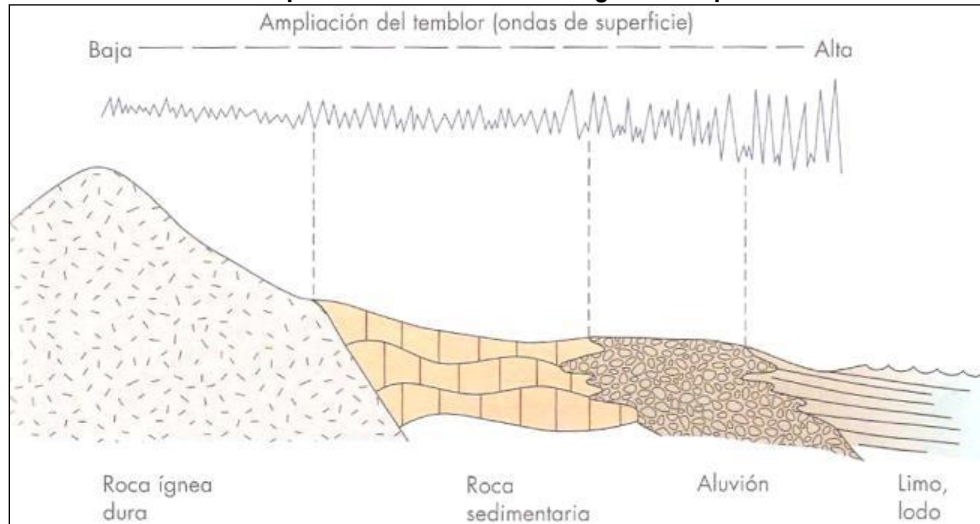


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

Finalmente, debe destacarse el llamado "efecto sitio", que indica un condicionamiento de carácter local bajo el cual para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde uno se encuentra ubicado, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto (FIGURA 10-7).

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

**FIGURA 10-7: Amplificación de la vibración generada por un terremoto.**



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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

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

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

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

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

- Depósitos o suelos, granulares poco consolidados (suelos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales, especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (ej. puertos y tranques de relaves), depósitos eólicos (dunas), depósitos de playas o de cursos de agua lo suficientemente jóvenes para estar sueltos. Los suelos con partículas de diferentes tamaños son menos propensos a sufrir licuefacción, debido a que las partículas menores tienden a rellenar los espacios entre las mayores, reduciendo así la tendencia a densificación del suelo y evitando los efectos del aumento de presión de agua. También influye la forma de

las partículas que conforman el suelo, siendo un depósito de partículas redondeadas más susceptible de sufrir licuefacción.

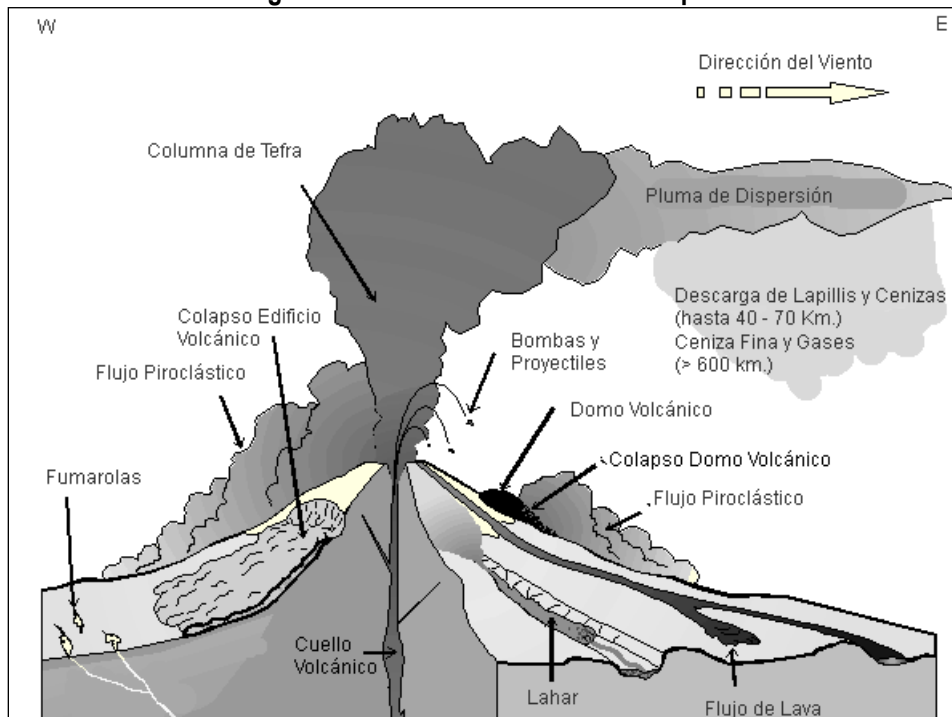
- Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.
- Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

### 10.2.1.2 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 10-8 y en el CUADRO 10-1.

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 10-8: Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.**



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

Los flujos de lava se producen cuando material magmático se desplaza aguas abajo del centro de emisión. El alcance que tendrán estos flujos está determinado por la tasa de efusión (emisión del centro volcánico), la pendiente del terreno

sobre el cual la lava escurre y la viscosidad de la lava. Además, en las cercanías del centro de emisión se producen comúnmente temblores de magnitud inferior a 6 en la escala de Richter ( $M_w$ ), pero a poca profundidad (entre 1 y 20 km), los que están asociados a intensidades mayores a VI en las cercanías del epicentro. Estos sismos provienen de diversos procesos, tales como ascenso del magma y fracturamiento de la corteza, explosiones volcánicas y esfuerzos tectónicos compresivos y expansivos asociados al ciclo eruptivo (González-Ferrán, 1995).

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

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

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

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

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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO  
ESTUDIO DE RIESGOS

**CUADRO 10-1: 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). (\*) El peligro de Flujos y Oleadas Piroclásticas, si bien presenta un alcance de hasta centenares de kilómetros, este se restringe únicamente a las hoyas hidrográficas que drenan cada aparato volcánico.

## 10.2.2 Procesos externos o exógenos de la Tierra.

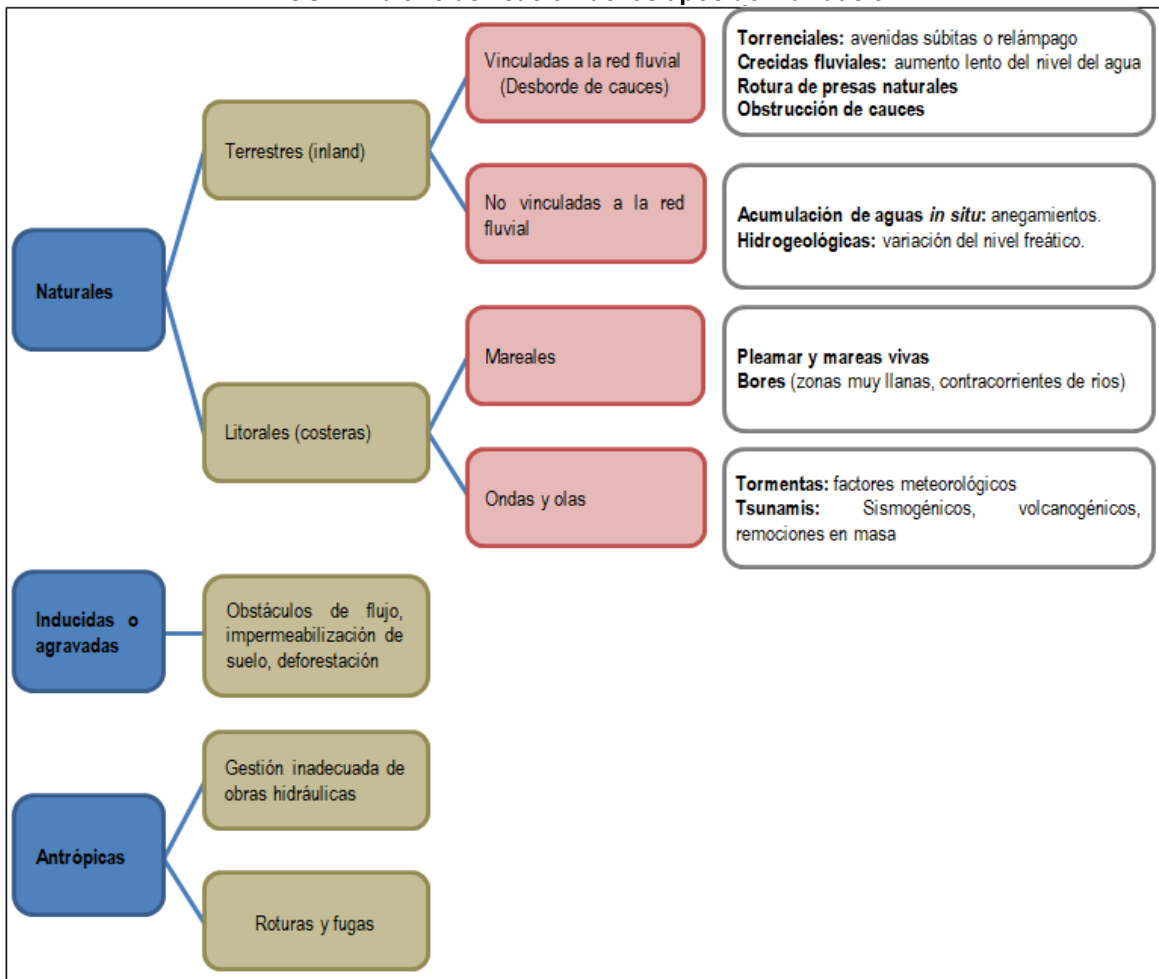
### 10.2.2.1 Inundaciones terrestres y litorales.

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA 10-9): (1) terrestres, en el sentido de "tierra adentro", en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes, y (2) litorales o costeras, en las que aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre (por las características de la comuna, éstas no se analizan). Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

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

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

**FIGURA 10-9: Clasificación de los tipos de inundación.**



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

#### **10.2.2.1.1 Inundaciones por desborde de cauce.**

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

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

- Perennes: ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas. Aunque no presenten necesariamente una escorrentía superficial 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.
- Los efectos que se pueden generar como consecuencia de una inundación estarán dados por varios factores. Naturalmente, los efectos dependen de la intensidad de la inundación, sin embargo, se deben diferenciar los efectos sobre los edificios, que se correlacionan mejor con la altura de inundación, de la afectación a la infraestructura vial, que se correlaciona mejor con la velocidad de escurrimiento (Kreibich, y otros, 2009), aunque, se debe tener en consideración que existe una buena correlación entre ambas variables. Por otra parte, existen otras variables que inciden en el nivel de daño que generan las inundaciones (Merz, Kreibich, & Lall, 2013; Hasanzadeh Nafari, Ngo, & Mendis, 2016).
- Superficie de las construcciones (que se correlaciona con la densidad de población y con el nivel socioeconómico de los habitantes), valor de las propiedades y calidad de la construcción.
- Medidas preventivas, asociadas a la construcción.

#### **10.2.2.1.2 Inundaciones 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 periodo de retorno no adecuado.

10.2.2.2 **Procesos de remociones en masa.**

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (FIGURA 10-10). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

**FIGURA 10-10: Clasificación de tipos de remociones en masa en relación con el movimiento que lo origina y el tipo de material constituyente de la ladera.**

Material	ROCA	DETRITO	SUELO
<b>Tipo de movimiento</b>			
<b>CAIDA</b>			
<b>VOLCAMIENTO</b>			
<b>DESIZAMIENTO</b>	<b>Rotacional</b> 	<b>Deslizamiento rotacional múltiple</b> 	<b>Deslizamientos rotacionales sucesivos</b> 
	<b>Traslacional (planar)</b> 	<b>Deslizamiento de detrito</b> 	<b>Deslizamiento de suelo</b> 
<b>PROPAGACION</b>			
<b>FLUJO</b>			
<b>COMPLEJO</b>			

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

10.2.2.2.1 **Flujos de detritos y/o barro.**

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villaruel, Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago, 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina estos flujos se conocen como flujos de barro.

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **10.2.2.2 Desprendimientos o caídas de rocas.**

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

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

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

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

#### **10.2.2.3 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 una 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 10-11). Esto implica que las superficies de ruptura, ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

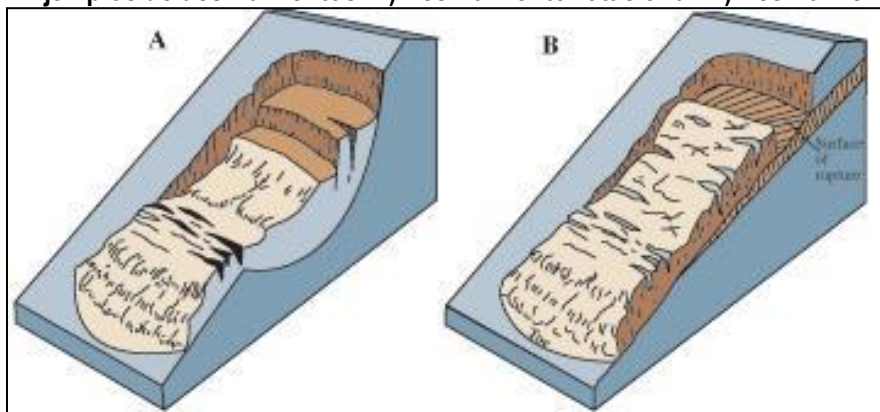
Adicionalmente, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como "Retroceso de laderas", que corresponde a la retirada del escarpe en dirección aguas arriba, sin que esta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

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

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

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

**FIGURA 10-11: Ejemplos de deslizamientos. A) Deslizamiento rotacional. B) Deslizamiento traslacional.**



Fuente: Modificado de Landslide Types and Process, USGS. Fact Sheet 2004-3072. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/fig3grouping-2LG.jpg>

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

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

### 10.3 ACTA REUNIONES

#### 10.3.1 Reunión Director de Seguridad y Emergencias

Estudio / Proyecto	<b>PLAN REGULADOR COMUNAL DE PADRE HURTADO</b>		
Motivo de la reunión:	Recopilación de antecedentes		
Fecha: 23/10/2023	Hora Inicio: 15:50	Hora Fin: 16:45	
Lugar	Zoom (virtual)		

<b>Participantes</b>	
Nombre	Cargo / Institución
José Estay (JE)	Equipo consultor
Matías Surijanovic (DC)	Equipo consultor
Alejandro Vega	Director de seguridad y emergencias

<b>Temas Tratados</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• JE: Introducción al estudio de riesgos en el contexto de la actualización del Plan Regulador Comunal de Padre Hurtado.</li> <li>• AV: Indica que el 75% de la comuna es rural y el 25% es urbano.</li> <li>• Relata sobre la ocurrencia de microbasurales y robos de vehículos en sectores de la Cuesta Barriga.</li> <li>• En diversos sectores del sector occidental de la comuna, sector de San Luis, La Esperanza, sectores que se vieron inundado (con espejo de agua) para las lluvias de este año. Esos sectores han sido históricamente inundados por napa freática. Terrenos anteriormente usados para el cultivo de arroz, remolacha, etc. Actualmente se encuentran poblados. Se señala que, en la cima de la Cuesta Barriga, vive Don Luis, persona de larga data en la zona que conoce el desarrollo y los eventos ocurridos en PH.</li> <li>• En la cuesta barriga existe un memorial de DD.DD. que está en una quebrada. Lugar de valor de los habitantes. Proteger.</li> <li>• En la Cuesta Barriga ocurren caídas de rocas, sedimentos y árboles menores durante eventos de lluvia. Los sectores de caídas y deslizamientos ocurren donde las laderas se han intervenido.</li> <li>• Durante los eventos de lluvias los canales de regadío se cortan, y el agua que conducen posteriormente proviene del agua que drena de las mismas calles. Si colapsan es producto de ello y no a que no cortan el agua desde las bocatomas.</li> <li>• Respecto de la respuesta sísmica de territorio no se cuenta con antecedentes. La unidad de emergencia tiene poco tiempo de existencia por lo que no hay un registro de lo ocurrido en la comuna para el terremoto del 27F.</li> </ul>

<b>Acuerdos</b>
Quedamos en contacto frente a cualquier duda relacionada con el tema de amenazas naturales